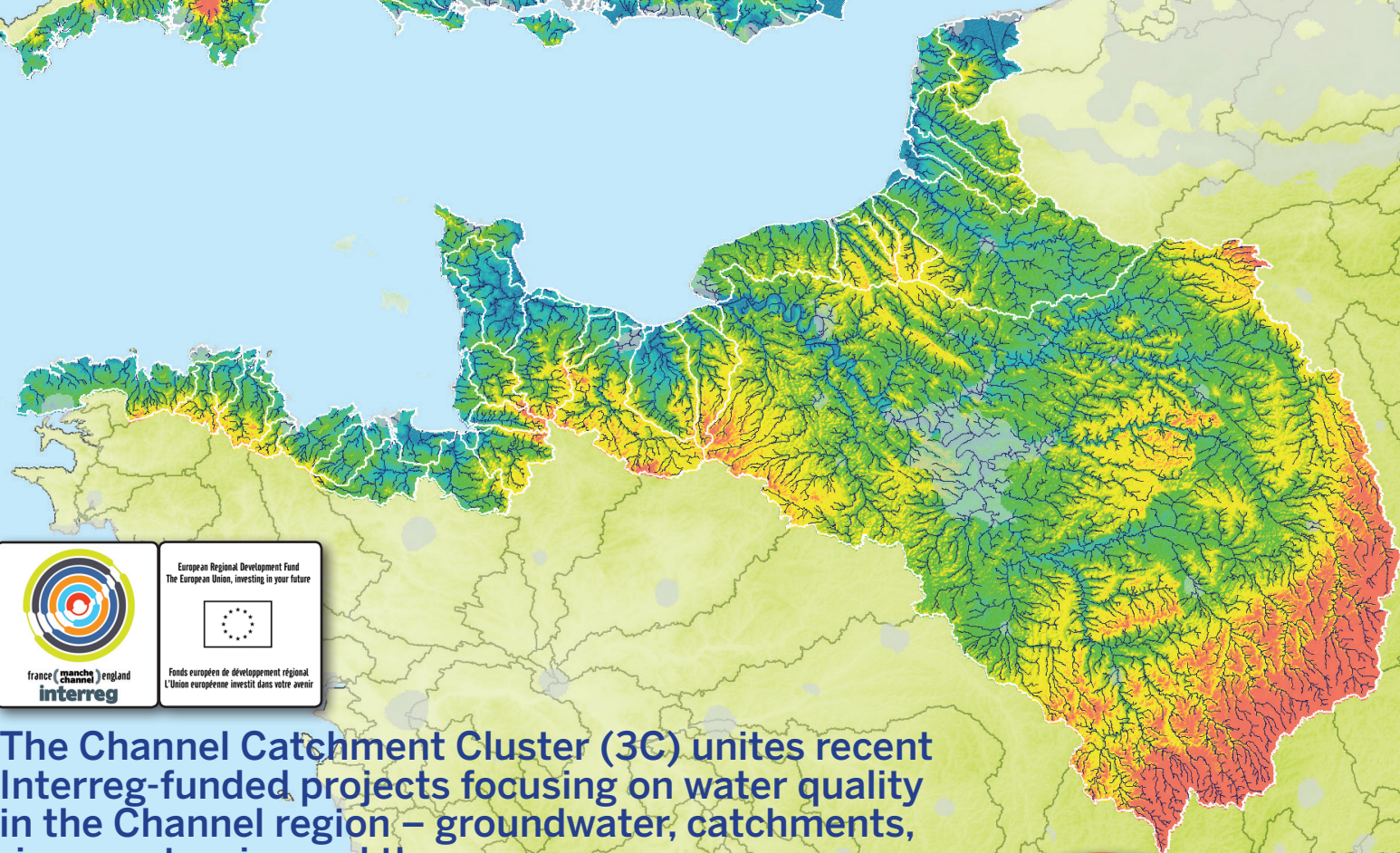
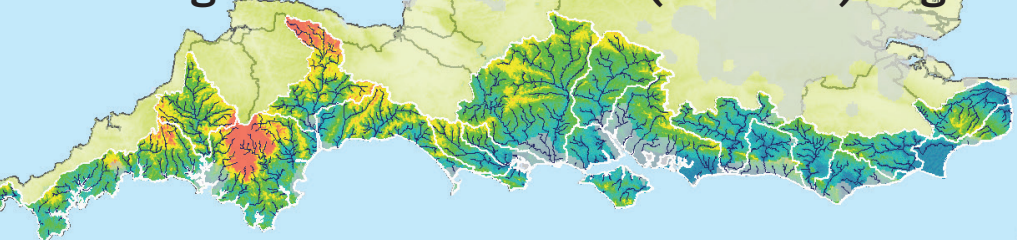


CHANNEL CATCHMENTS CLUSTER

Recent developments in tools and techniques for water quality management in the France (Channel) England region



The Channel Catchment Cluster (3C) unites recent Interreg-funded projects focusing on water quality in the Channel region – groundwater, catchments, rivers, estuaries and the sea



Channel catchments
support a population of 19 million and input over 61 million tonnes of water per day to the Channel

CONTRIBUTORS

Laurence Couldrick
Laurence@wrt.org.uk
Westcountry Rivers Trust

Lisa Rennocks
lisa.rennocks@cornwallwildlifetrust.org.uk
Cornwall Wildlife Trust

John Bishop
jbis@mba.ac.uk
Marine Biological Association

Frédérique Viard
Station Biologique de Roscoff

Nick Pope
ndpo@mba.ac.uk
Marine Biological Association

Olivier Bour
olivier.bour@univ-rennes1.fr
University of Rennes

Luc Aquilina
luc.aquilina@univ-rennes1.fr
University of Rennes

Tanguy Le Borgne
tanguy.le-borgne@univ-rennes1.fr
University of Rennes

Elizabeth Hill
e.m.hill@sussex.ac.uk
University of Sussex

Graham Mills
University of Portsmouth

Diana Alvarez Munoz
University of Sussex

Arthur David
University of Sussex

Elena Cubero-Leon
elenacuberoleon@gmail.com
University of Le Havre

Jean-Michel Danger
jean-michel.danger@univ-lehavre.fr
University of Le Havre

Awantha Dissanayake
awantha.dissanayake@plymouth.ac.uk
Plymouth University

This work was part funded by the European Regional Development Fund in the framework of the INTERREG IVa France (Channel) England programme.

THANK YOUS

Editorial management and design by Ella Carter Sutton
ellacartersutton@gmail.com
Bath, Somerset

Proofreading and translation by Anne-Flore Laloe, Marine Biological Association

Printed by Ashley House 1/2/3, Swallow Units, Alphin Brook Rd, Exeter, Devon EX2 8RG www.ashley-house.co.uk

Cover image: Channel catchments, by Lucy Morris, Westcountry Rivers Trust
www.wrt.org.uk, info@wrt.org.uk, @WestcountryRT



WELCOME...

to the Channel Catchments Cluster (3C). This project aims to capitalise on outputs from some of the recent projects funded through the INTERREG IVa France (Channel) England programme.

The river catchment basins draining into the Channel region drain an area of 137,000km² and support a human population of over 19M. Throughout history, these catchments, rivers and estuaries have been centres of habitation, developed through commerce and industry, providing transport links to hinterland areas. These catchments also provide drinking water and food through provision of agriculture, fisheries and aquaculture. In addition, many parts of the region are also economically important now for the tourism and leisure industries. Consequently, there is a need to manage the balance of these many and varied human activities within the catchments, rivers, estuaries and marine areas to ensure that they are maintained or restored to good environmental condition. This document highlights some of the recent work carried out by projects within the INTERREG IVa programme that provide tools and techniques to assist in the achievement of these goals.



Nick Pope

3C Project Leader
Marine Biological Association, Plymouth, UK

CONTENTS

Citizen science: creating a network to detect marine non-native species	3
Delivering catchment resilience through benefits mapping	6
Endocrine disrupting chemicals	8
Environmental monitoring	9
Tools for monitoring and identifying complex mixtures of environmental contaminants in aquatic environments	10
Water resources in Brittany: bedrock aquifer characteristics	12
Modelling, a tool for understanding and making decisions	13
Non-indigenous species on the Channel coast	14
The COMET assay: a simple method to measure DNA damage	16
Indicators of endocrine disruption in the English Channel region	18

Figure 1 Volunteers carry out an intertidal Shoresearch transect and quadrat survey recording both non-native species and climate change indicators. By Matt Slater.



CITIZEN SCIENCE: CREATING A NETWORK TO DETECT MARINE NON-NATIVE SPECIES

Non-native species introductions not only compete with native species for resources such as food, space and light; they can restructure ecosystems leading to a net loss of biodiversity

Their potential to exert biological pressure on the environment together with a growing awareness of the economic impacts non-native species can pose, is gaining increasing recognition. Recent legislative instruments and policy reflect this; calling for improved detection and monitoring capabilities to reduce the spread of non-native species. In particular, the European Marine Strategy Framework Directive (MSFD) and the closely aligned Water Framework Directive (WFD) identify non-native species as having the potential to adversely impact the ecological status of European waters.

The very nature of introduction,

either intentional or unwittingly, by human activity highlights the need for a raised awareness among maritime industries and users. The earlier along the invasion pathway a species can be detected, the more cost-effective it is likely to be to minimise further spread. Therefore, a greater understanding of the nature of these pathways could lead to both earlier detection and a reduction in spread. This increasing need for vigilance and awareness inspired the development of an innovative 'contributory' citizen science programme, The Marine Science project to help gather data on non-native species introduction. By developing and adapting monitoring

techniques, Cornwall Wildlife Trust has mobilised a network of citizen scientists able to gather non-native species data in artificial, intertidal and sub-tidal habitats.

Marinas provide suitable artificial habitat and are often the first point of entry for some non-native hitchhikers, and as a consequence the recreational boating community are ideally placed to detect these new arrivals. Engagement with this target audience to deploy retrievable settlement panels has proven to be a successful citizen science project in Cornwall and offers a valuable opportunity to raise awareness. The panels are deployed for a specified

period after which participants are requested to submit digital images of their colonised panel online. The images are then examined by experts to determine the presence of any non-native species. The project design aims to provide verifiable biological data on the presence of a range of non-native taxa across a wide geographical area but, equally importantly, raise awareness of their occurrence within the recreational boat community. The aspiration is that their involvement could lead to behavioural changes amongst maritime users, and thus ultimately reduce the rate of spread of non-native species.

To complement surveillance in marinas, existing citizen science based projects have been adapted to incorporate non-native species monitoring while carrying out natural habitat surveillance.

Panache partners have devised a user-friendly methodology in order to enable citizen scientists of all abilities to perform intertidal surveys which serve to monitor the shore and identify potential pressures. The shoresearch methodology consists of four elements to record key species, including non-native species and climate change indicators, as well as rare species and help inform the selection process for Marine Protected Areas (MPAs).

The elements include a timed search for specific key species generating presence/absence data and a comparable gauge of species abundance; a walkover survey, recording all taxa, their relative abundance and location on the shore with reference to zonation (observations of particular significance are carefully photographed and GPS position recorded); a repeatable transect survey where zonation measurements are recorded allowing for comparison over time and finally a transect survey incorporating quadrats to record species and percentage cover in each zone. A site can be surveyed by employing one, some or all of the complimentary elements depending on the time and expertise available.



Figure 2 (Left) Boat owners turned citizen scientists remove their settlement panel to photograph and check for non-native species colonisation. By Lisa Rennocks.



Figure 3 (Right) Images of each side of the settlement panel are received from citizen scientists to be checked for the presence of non-native species. Non-native tunicates *Asterocarpa humilis*, *Corella eumyota* and the bryozoan *Bugula neritina* are clearly visible on this side of the panel. By Lisa Rennocks.

RAISING AWARENESS

If a key aspect of your project is to raise awareness, consider citizen science

Engaging with a target audience through project participation can lead to a raised awareness and changes in behaviour as people become more familiar with the issues and potentially can begin to influence others. Effective communication is vital. In today's world of social media and online resources it has never been easier to reach a wide audience. Adopting a varied approach to engagement will help to motivate and retain volunteers. Face-to-face contact through workshops and training sessions are valuable ways to raise awareness in addition to newsletters, fact-sheets, posters and identification resources.



Figure 4 From the lab to the field, volunteers visit a marina to put their identification skills to the test during a marine non-native species identification workshop. By Lisa Rennocks.

This level of volunteer engagement aims to build a sense of common ownership and stewardship of the marine environment while increasing awareness in support of MPAs and potential pressures upon them.

The picture would not be complete without sub-tidal natural habitat data, however sending volunteers underwater is fraught with complications - but Seasearch does just that! Seasearch is a national scheme for volunteer sports divers to record their underwater observations for the benefit of marine conservation. This well-established citizen science programme easily lends itself to monitoring for non-native species. With standardised methodology already in place, specialist non-native species identification workshops have been delivered as well as the creation of a corresponding waterproof ID guide to equip divers with the necessary skills to record non-native species on both routine Seasearch dives and dedicated non-native dives. The relationship with Seasearch volunteers has proven an ideal coupling with participants, often motivated by the opportunity to dive in unusual and often restricted areas. Digital images from the dive help provide robust, verifiable data.

Uniting teams of volunteers from different projects with a common aim demonstrates the huge potential to create a large network of individuals able to carry out non-native species surveillance by harnessing the skills of the general public, amateur naturalists and those who are well positioned to collect data through their leisure pursuits. With careful project design and species selection citizen scientists can help gather reliable robust data over an extended geographical range.

This citizen science approach to monitoring has been shared across the channel thanks to the collaboration of organisations bought together by the Interreg IV programme. This has also facilitated the development of resources to generate awareness including identification materials and a dedicated website for recording.



Counting the costs

The European commission estimates the cost to European economies for controlling invasive species and repairing the damage they do to be in the region of €12 billion each year.

Figure

5 (Top) The Leathery sea squirt (*Styela clava*) is easily distinguishable from native species, an excellent candidate for citizen scientists to record. By Matt Slater. **Figure 6 (Middle)** The non-native kelp Wakame (*Undaria pinnatifida*) with a distinctive midrib and margins is easy to distinguish. by Lisa Rennocks. **Figure 7 (Bottom)** Seasearch diver monitoring for non-native species. By Catherine Wilding.

REDUCING BARRIERS TO RECORDING

Careful species selection can be crucial to obtaining reliable data

Selecting visually distinguishable non-native species not only increases the likelihood of accurate identification, it also helps to build the participant's confidence in species recognition. Combining species that are likely to be found with ones yet to arrive maintains enthusiasm and commitment to monitoring.

LISA RENNOCKS
Cornwall Wildlife Trust


PANACHE
Protected Area Network Across
the Channel Ecosystem


seasearch
www.seasearch.org.uk


Shoresearch


THE wildlife TRUSTS

Cornwall

Figure 1

A vision for enclosed farmland. This image compares bad farm (left of river) and good farm (right of river).



DELIVERING CATCHMENT RESILIENCE THROUGH BENEFITS MAPPING

Working with stakeholders to create an ecosystem service benefits map that can develop a shared catchment vision

Our land plays a vital role in capturing, transporting and purifying water. The way the rain interacts with soil is impacted directly by the way we manage this interface. If we compact the land we decrease infiltration into the ground water, increase overland flow and thereby increase the transport of any pollutants. In summary the way we manage our land changes the quality and quantity of water reaching our rivers and seas.

Historically, the landscape has been filled with a patch-work of fields, hedges, wetlands and woods all of which have acted to slow the movement of water. This reduces the risk of flooding, reduces the chances of pollutants becoming mobile and then entering the river and keeps water within a landscape, therefore

reducing the likelihood of droughts. However, after the Second World War we sought to increase food production in part by simplifying the landscape and enlarging farmable space through the removal of hedges, wetlands and woodlands. Together with technical improvements in agriculture, such as the use of nitrogenous fertilizers, this has led to the intended and much needed increases in food production, but also the unintended loss of resilience our landscape has in holding and moving water.

The Westcountry Rivers Trust has sought to address this reduction in resilience over the past 20 years by working with farmers and landowners to understand both the positive and negative impacts of farming. This is not about reverting to a bygone era but getting more from our

landscape. We have an ever increasing population, but the same amount of usable space, so we need to get more from our catchments. To do this the Trust has developed a participatory mapping tool that allows catchment stakeholders to come together to decide what they want from their river catchment and the best and most sustainable way to use, manage and pay for our valuable local resources.

By mapping the benefits we derive from any catchment we are able to overlay these maps to show areas of multiple benefit where several sections of society should come together to deliver a shared vision (See Figure 1: A vision for enclosed farmland and Figure 2: multi-functional areas). It is through this shared understanding that the Trust has been able to develop catchment scale projects that deliver

multiple benefits to society. By working with academic, regulatory and community stakeholders to understand the effect of local management practices on the spatial and temporal limits of the ecosystem the Trust has been able to increase the resilience of our river catchments. A key element is the use of adaptive management to design advice that is personal, costed and relevant to each farmer so they can change their management practices whilst minimizing any business risk. Three of the Trust's past projects summarise this process: Cornwall Rivers Project,

WATER and Upstream Thinking.

The development of these types of catchment scale projects are now being coordinated on a larger scale through the Catchment Based Approach. The development of catchment partnerships across all catchments in England represents a huge potential to increase our shared understanding of what we get from our rivers but it needs evidence and understanding. Academic research, tools, maps and models are a vital component to this process.

The Catchment Based Approach is a chance for us to break out of our silos,

where historically we have thought only about what it is that our individual organization or sector wants from the catchment. However, breaking down these silos is not easy and it requires us to think about how our actions impact upon other people and to put ourselves in other peoples' positions. The reward for getting this right is a more joined-up way of delivering the multiple European directives we sign up to as a community but also a balanced environment where we can feed ourselves, power our homes, drink clean water and have a nice safe place to work, live and play.

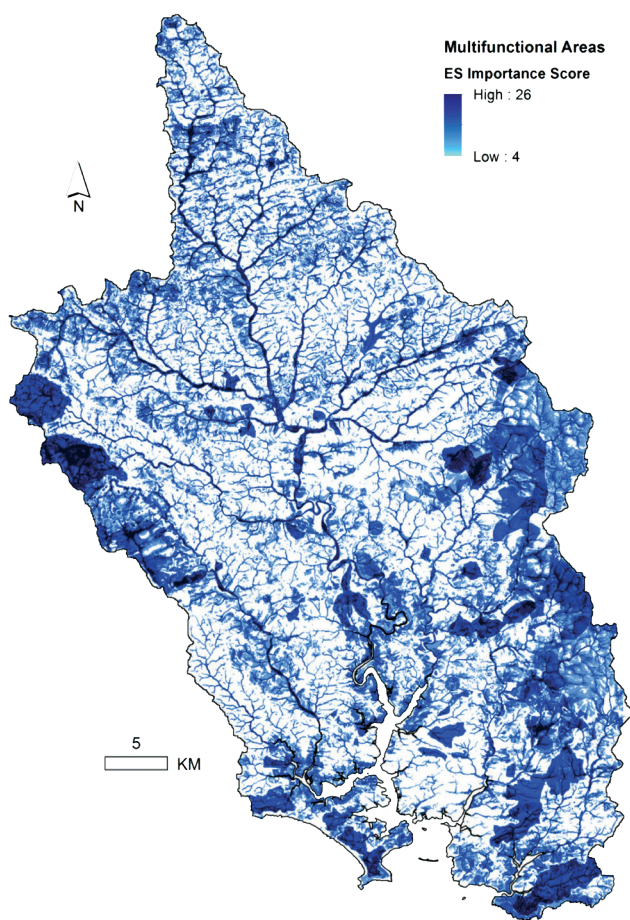


Figure 2 Overlaying ecosystem service maps highlights areas where multiple benefits are derived.

DR LAURENCE COULDRICK

Head of Catchment Management,
Westcountry Rivers Trust

Cornwall Rivers Project

Delivering farm competitiveness
through improved resource efficiency

Between 2002 and 2006 the Trust delivered the Cornwall Rivers Project, a £2.6M initiative, funded by Defra and the Objective 1 Programme. Its primary aim was the rehabilitation of key rivers and their catchments across Cornwall while bringing improvement in the economic viability of local rural communities. During the project, Trust staff visited over 870 landholdings in Cornwall, each one receiving advice and a confidential, individually tailored and free 'Integrated River Basin Resource Management Plan' that identified opportunities to improve farming practice, to protect the environment and to make economic savings. These plans covered a total land area in excess of 560 km (56,000 ha) and over 1,380km of surveyed watercourses. An independent economic survey of the project revealed that the majority of respondents made significant savings through taking up our advice (the average annual savings per farm are calculated to be in excess of £1,369 - 2006). If all 870 farms made such savings, the entire cost of the project paid for itself in just over 2 years!

Upstream Thinking!

Delivering improvements in raw drinking water

From 2010 the Trust has been involved in one of the UK's best known examples of Payments for Ecosystem Services through South West Water's Upstream Thinking programme. The Trust acts as an ethical broker between South West Water and farmers upstream of water treatment work abstraction points. The Trust has distributed over £2.6m worth of grant against £4.5m worth of capital projects improving raw water quality, including over 180 farmyard infrastructure items, as well as funding over 50km of fencing and river improvements. This has led to a reduction in the soil, nutrients and pesticides reaching the water treatment works, reducing water bills in the long term. The project has also seen the first use of a Reverse Auction on the river Fowey to allocate funding to the most cost effective solutions.

WATER

Wetted land; the Assessment, Techniques and Economics of Restoration

In 2009 the Trust launched the WATER project, a €3.8m partner initiative, funded by the France (Channel) England Interreg IVA programme. It sought to assess the landscape and

understand how water moves through and is retained in the catchment. These wetted areas could then be better managed and restored as well as the economics of their restoration illustrated.

This project was primarily involved in research and development but lead to protection over 35km of wetland zones and advice over 9,600ha. Now the Trust has moved forwards as one

of the leading UK practical applicants of Payments for Ecosystem Services, able to develop and use ecosystem service mapping as a way of identifying and working with catchment beneficiaries.

ENDOCRINE DISRUPTING CHEMICALS

Endocrine disrupting chemicals disrupt the reproductive system and can cause imbalanced sex ratio, delayed gametogenesis, imposex and intersexuality

There is strong evidence obtained from field studies showing that many aquatic organisms may be exposed to biologically active concentrations of endocrine-disrupting chemicals (EDCs) in the environment. These are chemicals that alter the function(s) of the endocrine system, which is necessary for the normal development, reproduction, growth, homeostasis, energy availability and behavior in multicellular organisms.

Adverse endocrine-mediated effects have occurred in some aquatic species and in some cases have resulted in population declines. For example, one of the most studied cases, yet still not fully understood in terms of the precise mechanisms involved, is the effect of the organotin antifouling compound tributyltin on marine molluscs. This compound is taken up by bivalves and gastropods from sediments, water or diet and can cause irreversible sexual abnormality in female snails, a phenomenon known as 'imposex'. Imposex is the

development of male secondary sexual characteristics in females and is known to cause sterility producing population declines and disappearance of snails populations close to organotin sources. As a consequence, the use of organotin-based paints on vessels less than 25m in length was banned for most of the countries in 1987 and since 2003 in all ships. Male clams from estuaries in the UK have also shown a disruption in the gonadal development with up to 60% of some populations exhibiting intersex (ovotestis) but the causes are still unknown.

Estrogenic chemicals in sewage have been associated with the production of vitellogenin (egg yolk precursor) and testicular abnormalities by male fish. The estrogenic activity of these waters has been explained by the presence of alkylphenol polyethoxylates, natural hormones, such as 17 β -estradiol, estrone, and the pharmaceutical ethynylestradiol, lipophylic

organochlorines and phthalates.

In mammals, a well-documented study is that of mass mortalities in harbour seals, a combined result of a morbillivirus infection and polychlorinated biphenyl-immunosuppression effects via hormone disruption. Also, population declines produced by impaired reproduction in grey seals have also been related to the presence of organochlorines in the food chain.

Research has shown irreversible harm from EDCs in humans and wildlife. Current EU chemical regulations oblige chemical and pharmaceutical companies to conduct an environmental risk assessment of their products but these rely on acute toxicity tests, which are inadequate for identifying EDCs. High pressure on water resources will increase, for instance the UK Growth Agenda foresees an extra 50,000 houses to be built in the next 20 years. Although uncertainties in risk assessment remain, regulatory measures are urgently needed.



Male
or
Female?

ELENA CUBERO-LEON
University of Le Havre

JEAN-MICHEL DANGER
University of Le Havre

Figure 1 Histological detail of an intersex clam gonad where oocytes and mature sperm can be seen.

INTERSEX IN CLAM POPULATIONS

A widespread phenomenon in clam populations from the UK southwest coast

Suppressive subtraction hybridization (SSH) technique was applied to understand the mechanism of disruption of the clam reproductive system. This bivalve is subject to inappropriate formation of oocytes within the testes characterizing intersex individuals. Several interesting gene transcripts were identified as lowered in intersex clam samples. These encode a variety of proteins involved in cell signaling (RACK1), cell cycle (PCNA, histone H3), protein synthesis (ribosomal proteins), cytoskeleton (tektin), sperm physiology (tektin, SPL1), and energy metabolism (CYB, COX1). Because many of these genes appear as "male" genes, the result suggests that these profound physiological changes result from demasculinisation of male clams.

The 2013 Berlaymont Declaration on Endocrine Disruptors

In June 2012 the European Commission convened a conference of international scientists, representatives of interest groups, and European Union (EU) Member States to discuss forthcoming policy initiatives for endocrine disruptors.

Life expectancy continues to increase largely as a result of technological advances that have come from the synthesis of different chemicals such as fertilizers, pesticides and pharmaceuticals. The inappropriate handling of some of these chemicals however has cost significant degradation of the environment. For example, early evidence existed that several pesticides interfered with the endocrine system of different organisms; but it was not until the mid 60's with the publication of Rachel Carson's *Silent Spring* documenting detrimental effects of pesticides in the environment that widespread public concern was raised.

Since the mid 1970s, environmental monitoring became increasingly important mainly due to the awareness of environmental chemical pollution and human health risk. Nowadays, environmental risk assessments are widely used as a scientific tool to evaluate the probability and magnitude of biological effects resulting from exposure to chemical contaminants. The aim of risk assessments is to assist decision makers to tolerate, mitigate or eliminate the potential harm of the chemicals released to the environment. Chemical monitoring coupled with biomonitoring (monitoring programs) are

considered useful tools in the risk assessment process. Biomonitoring is the use of biological responses to assess changes in the environment. Biomonitoring data can provide a measure of an individual's internal dose to an environmental chemical and information about the effects on the exposed organism building relationships between environmental pollutants and the occurrence of diseases¹.

Biomonitoring programs are used to identify priority exposures of chemicals, recognize time trends in exposure, identify at-risk populations, establish reference ranges for comparison, provide integrated dose measurements and evaluate exposure intervention and prevention efforts. These studies generally involve the measurements of the contaminants or biological changes (through the use of biomarkers) in indicator organisms, populations and/or communities.

Suitable species for biomonitoring or sentinel species are able to accumulate pollutants in their tissues from the environment or food.

Currently there is still increasing public and scientific concern on the occurrence and contamination by emerging pollutants and further monitoring studies are needed to assess the trends and risks associated with their accumulation in the aquatic environment.

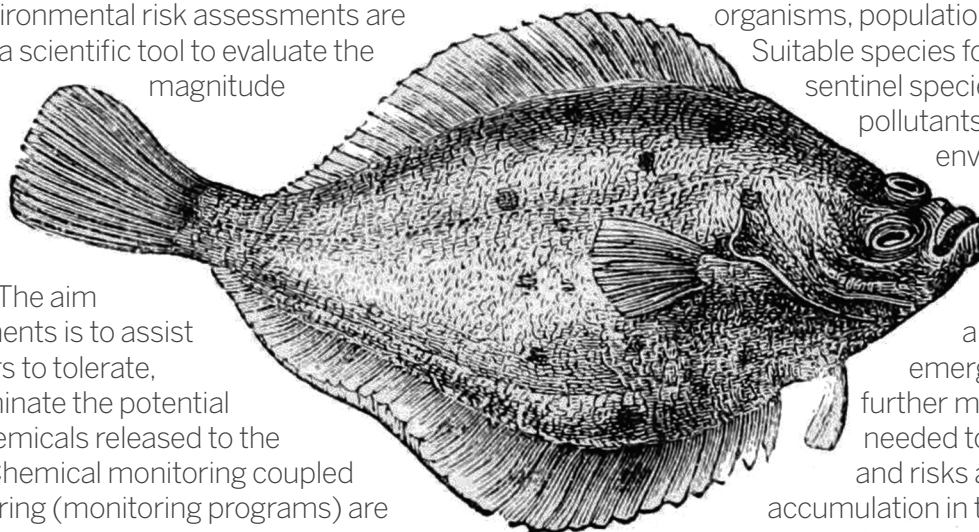


Figure 1 A flounder, *Platicthys flesus*.

ENVIRONMENTAL MONITORING

Monitoring programs are used to evaluate the impact and potential risk that chemicals have in the environment

ELENA CUBERO-LEON
University of Le Havre

JEAN-MICHEL DANGER
University of Le Havre

1. E Cubero-Leon, C M Ciocan (2013). Mussels as a tool to Monitor Pollution. In: *Mussels: Ecology, Life Habits and Control*. Eds. Nowak, J., Kozłowski, M. Nova Science Publishers. pp. 77-100

The flounder is considered as a relevant sentinel species for monitoring water quality. It is a flatfish living preferentially on sandy mud and muddy estuarine and coastal areas. This species is widely distributed in Europe, from Norway to Portugal. The flounder lives most of the year in estuarine areas and rivers reaching the ocean as adults to spawn.

Mussel Watch Programme

The Mussel Watch Programme was designed to monitor the status and trends of chemical contamination of U.S. coastal waters. The Programme began in 1986 and is one of the longest running, continuous coastal monitoring programmes.

MONITORING STUDY USING THE FLOUNDER

Monitoring study integrating multiple biomarkers in the flounder to assess the quality of marine and estuarine waters

- In order to document a suite of biological parameters for flounder and to investigate their ability to deliver a coherent and informative picture of the health of the fish living on our coasts, measures of DNA damage, molecular and biochemical responses were conducted during laboratory exposure experiments or in natural populations of flounder from differentially contaminated estuaries. This study showed that some biochemical biomarkers, in particular those related to the metabolism, might give ambivalent responses and showed the importance of using of a battery of markers.
- In addition, the physiological biomarkers appeared more predictive of adverse effects of chemical contaminants.

TOOLS FOR MONITORING AND IDENTIFYING COMPLEX MIXTURES OF ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS IN AQUATIC ENVIRONMENTS

Collaborations between the Universities of Sussex, Le Havre, Exeter and Portsmouth have been instrumental in the identification of the complex mixtures of chemicals that contaminate the aquatic environment and their potential to interfere with the health and functioning of ecosystems

Endocrine disrupting chemicals

Some environmental contaminants have the ability to disrupt the reproductive health of aquatic organisms and are termed 'endocrine disrupting chemicals' (EDCs). Often they can disrupt the activity of sex hormones in wildlife and humans by mimicking the action of estrogens or blocking the action of androgens (i.e. they are anti-androgens) resulting in feminization of exposed organisms. Some of these compounds are pharmaceutical residues, such as components of the 'pill', as well as common household agents that are incompletely removed from the wastewater treatment plants. The high incidence of feminized fish in some European rivers, and occurrence of intersexuality in aquatic invertebrates is thought due to environmental exposure to EDCs. We have used state-of-the-art sampling procedures, (passive sampling), combined with novel analytical approaches to identify and survey new types of chemical pollutants present in rivers of the Channel regions (see Figure 1). The use of passive sampling techniques which capture a wide range of chemicals, has enabled the detection



Figure 1 Chemcatcher® passive sampling devices secured in deployment rig, retrieved after a field trial in the River Exe, UK.

of new mixtures of bioavailable EDCs present in rivers contaminated with wastewater effluents. These include the germicides used in common household products such as triclosan which is used in mouthwash and toothpastes, and chlorophene used in disinfectants (see Figure 2). However,

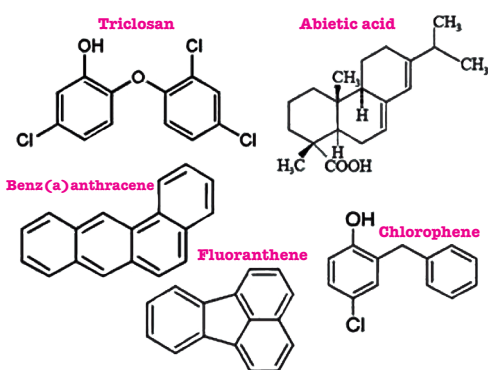


Figure 2 Mixtures of anti-androgenic chemicals detected in the aquatic environment. Anti-androgens can act as demasculinizing agents and may exacerbate feminizing effects of estrogens with the potential to disrupt reproductive health of fish and invertebrates.

our research has shown that these compounds act as anti-androgens with the potential to exacerbate the feminization of fish caused by exposure environmental estrogens such as ethinyl estradiol present in the 'pill'. This work has important implications for the European Union Water Framework Directive (WFD) which is currently considering legislation of environmental estrogens in surface waters based on risk of exposure to estrogens themselves, rather than to mixtures of other anti-androgenic EDCs which may potentiate estrogen-induced feminization of fish. In further work, we have also used chemical profiling techniques to show that fish exposed to effluent contaminated water are also exposed to many

pharmaceuticals including 5 different anti-inflammatory drugs and 7 different selective serotonin reuptake inhibitors. These mixtures have the potential to disrupt both the immune function and behaviour of fish.

Sediments can sequester hydrophobic environmental chemicals and thus can be important sources pollutants in the aquatic environment. We have used bioassay-directed analytical tools to identify the major anti-androgens in present coastal sediments (Figure 3). These were identified as mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) which are present as a result of shipping activity and oil pollution. Experiments are being conducted to determine whether these EDCs can disrupt the normal sexual development of benthic invertebrates such as clams (*Scrobicularia* sp) where a high incidence of intersexuality has been documented in some populations in the Channel region.

Herbicides and molluscicides Other work on use of passive samplers to help to monitor pollutants in water is being undertaken by the University of Portsmouth, UK in collaboration with South West Water Ltd. and the Westcountry Rivers Trust. These groups are using the Chemcatcher® device (developed at the University) to detect and map concentrations of a range of acid herbicides in the River Exe catchment. These chemicals (e.g. Mecoprop) are used widely in this region for the control of broad leaved weeds in grassland and some cereal crops. Using this new approach to monitoring, specific chemical inputs into the river system can be better traced and any necessary remedial actions better targeted.

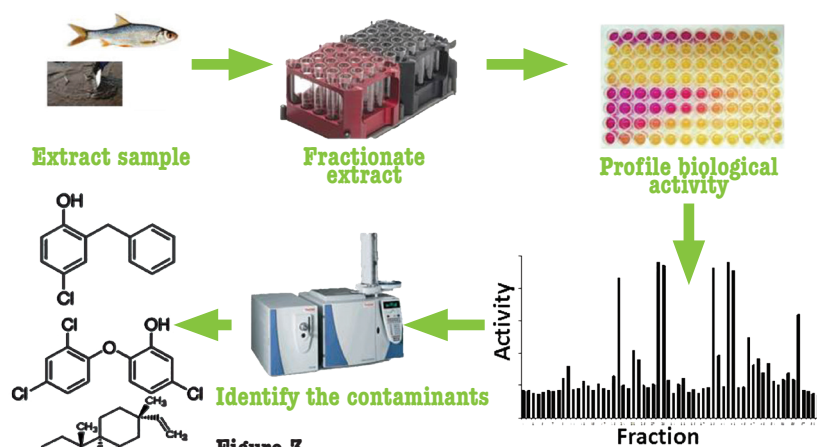


Figure 3

A combination of bioassays and chemical analyses are used to identify novel contaminants present in extracts from passive samplers, sediments and wildlife.

Is the risk of chemical pollution of the environment underestimated?
Studies suggest that up to 84,000 chemicals are in common use worldwide. These are potential environmental contaminants, yet we only have exposure information on approximately one thousand of them.

Work is also starting to use this technology to monitor inputs of the molluscicide, metaldehyde. This chemical, in the form of slug pellets, is applied widely to agricultural land across the UK and usually enters the river system as run-off after rain fall events. This chemical is difficult to remove from environmental water (e.g. for subsequent use as potable water supplies) using conventional

treatment and purification processes.

Many of the compounds identified in these studies are either on the EU WFD priority pollutant list or are on a 'Watch List' for potential future legislation. However, risk assessment of environmental chemicals is currently based on exposures to single contaminants, and takes no account of the actual complex mixture of substances accumulating

in organisms which may enhance (by additive or synergistic effects) or decrease (by antagonistic effects) overall toxicity. Hence, there is a need to understand the composition of the chemical mixture that aquatic organisms are exposed to in order to perform environmentally relevant risk assessment studies that are necessary for effective policy and legislation.

USE OF PASSIVE SAMPLING DEVICES TO MONITOR WATER QUALITY

Passive samplers can be used alongside or as an alternative to spot or grab water sampling methods

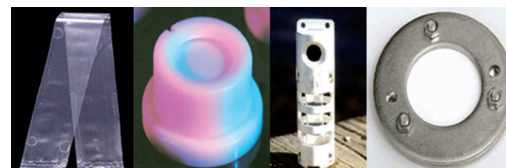


Figure 4 Passive sampling devices. L-R; Semi-Permeable Membrane for non-polar organic pollutants, Diffusive Gradients in Thin Films device for metals, Ecoscope for metals and non-polar organic pollutants, Polar Organic Chemical Integrative Sampler for polar organic pollutants.

Passive sampling devices for use in water have been developed over the past twenty years. A number of designs are available and these can be used to measure all the major types of pollutants (e.g. metals, non-polar and polar organics) typically found in the environment. Samplers can be deployed in the water column for extended periods (e.g. days to months) and once calibrated can provide both time weighted average and equilibrium concentrations of pollutants. Their use in regulatory monitoring programmes is currently attracting wide interest across Europe and elsewhere.

Coastal sediments of the Channel region are contaminated with anti-androgenic chemicals

Sediment extracts were analyzed by an androgen receptor antagonist screen and the results expressed in relation to a standard anti-androgen, flutamide. High concentrations of anti-androgens were detected in Southampton, Le Havre and Poole harbours. We showed that this pollution was due to PAHs and reveal that these contaminants may have reproductive as well as genotoxic effects in aquatic organisms. The work has important implications for understanding the role of marine sediments in the reproductive health of benthic invertebrates and fish.

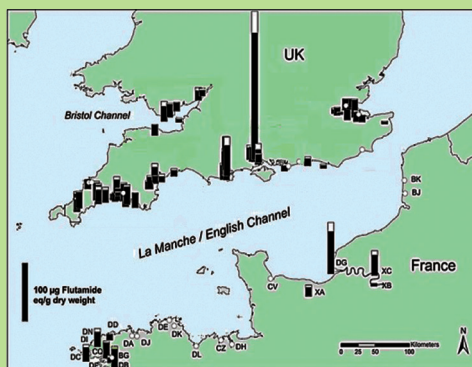


Figure 5 Survey area; Black bars represent anti-androgenic activity and white areas the variability of duplicate measurements. No anti-androgenic activity ($< 0.2 \mu\text{g}$ flutamide equivalents/g sediment) was detected in marked sites with no bars.

PROFESSOR ELIZABETH M HILL
University of Sussex

PROFESSOR GRAHAM MILLS
University of Portsmouth

DR DIANA ALVAREZ MUNOZ
University of Sussex

DR ARTHUR DAVID
University of Sussex

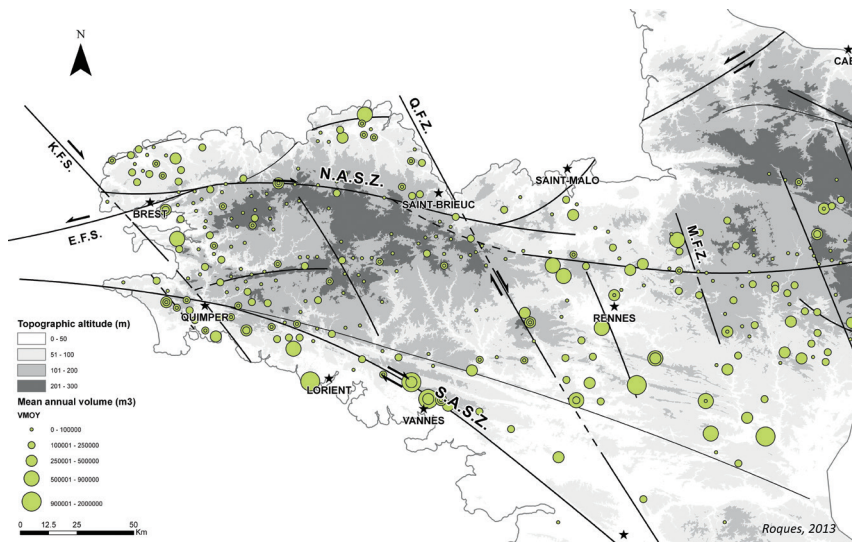


Figure 1 Mean annual volume of groundwater abstraction from crystalline aquifers in Brittany (from Agence de l'eau Loire Bretagne).

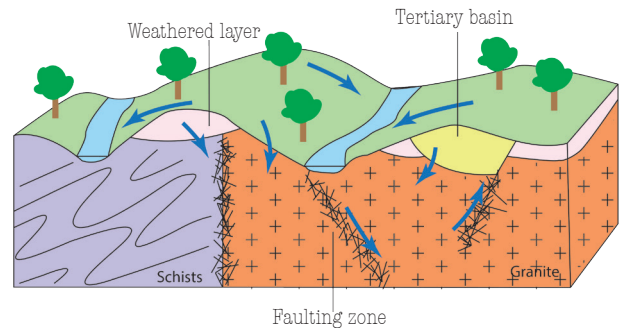


Figure 2 Mean conceptual model of Brittany aquifers. Tertiary basins (yellow), weathered formations (pink) and faulting zone (black). Adapted from Brault, 2002.

OLIVIER BOUR
olivier.bour@
univ-rennes1.fr

TANGUY LE BORGNE
tanguy.le-borgne@
univ-rennes1.fr

LUC AQUILINA
luc.aquilina@univ-rennes1.fr

WATER RESOURCES IN BRITTANY: BEDROCK AQUIFER CHARACTERISTICS

Often considered to be of low productivity, aquifer water resources exist in Brittany, but are heterogeneously distributed

In Brittany, for a total of 60M. m³ only 20% of tap water is derived from groundwater (compared to 60% at the national scale). 65% of the producing wells are in the weathered part of the rocks (below 20m depth) and produce less than 10m³/h. Exploring massive rocks such as bedrocks and in particular schists and granites needed dedicated tools, as availability of the water is linked to (inter) connected fractures.

At the regional scale, some high flow areas (>40m³/h) are encountered. They are highly related to specific geological structures such as faulting zones (Figure 1).

A legacy of Brittany's geological history, they boost a high transmissivity (> 10-3m²/s) which can be related to high productivity of the reservoirs. Contrary to what may be expected, recent work on these aquifers shows that the depth alone is not the key parameter for productivity but rather the geometry (and in particular the dip of the faulting zone: sub-vertical faults present less productivity than gently dipping faults (PhD thesis, Clement Roques with BRGM)).

However, the key parameter in these aquifers is their connectivity. The fault zone is more the transmissive path than the capacitive one: the fault must be connected to a reservoir which can sustain the water abstraction. The durability and water quality of this contributing reservoir is of greatest significance for the sustainability and protection of the resource. Tertiary basins or weathered rocks have good storage capacity but they are shallow and consequently sensitive to surface activities and eventually their quality is limited. Faulting zones can also reach deep protected reservoirs with regard to accidental pollution but these reservoirs are sometimes too mineralized for tap water production.

Knowledge of the aquifer geometry is essential information in aquifer resources management. Tools have been developed by research laboratories to 'image' the faulting zone, their connectivity and productivity. Monitoring during the first years of production would confirm the sustainability of quantity and quality for the resource.

Funded by CLIMAWAT Interreg Project and ORE H+

Bore-hole flux characterization using fiber optics

With a continuous observation of temperature, connected fractures in boreholes could be localized

Distributed temperature measurement utilizing fiber optics is a recent technique which has been developed in the last few years. Thermal tracer tests can be conducted for better characterization of the geometry of the fracture network: following hot water injection in a well, it is possible to visualize through time the inflow (or not) of this "tracer" at all depth in the bore hole and thus to identify connected fractures.

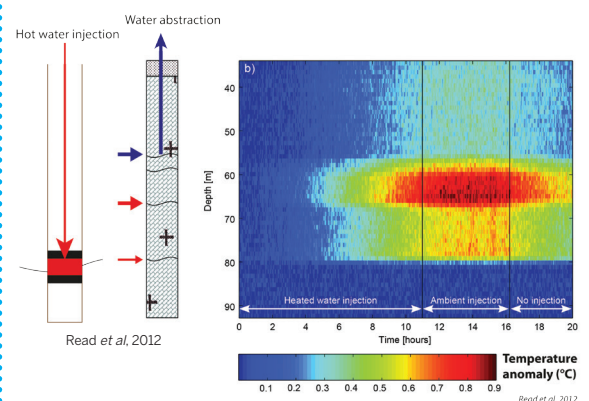
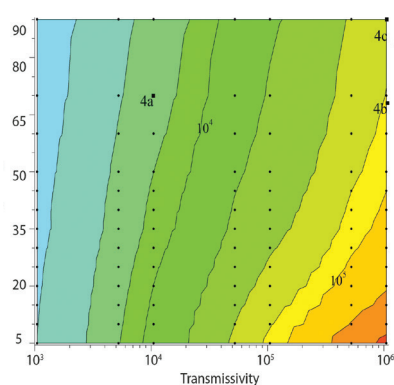
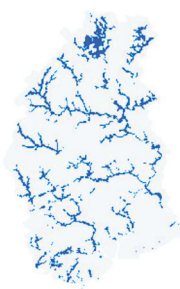
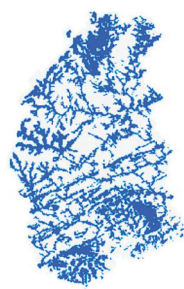


Figure 3 Continuous temporal survey of temperature at all depths in the well. Only the two deepest fractures are connected with the injection well.



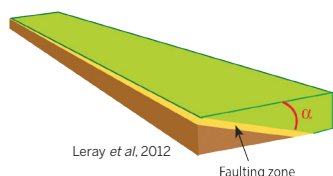
Recharge = 500mm

Goderniaux et al, 2013
Recharge = 100mm

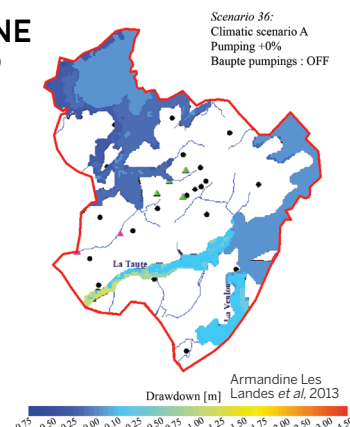


Draining cells : 39%

Draining cells : 10%



L-R Figure 1 Impact of fault zone dip (a): the lower the angle (and the higher the transmissivity), the greater the productivity of the aquifer (red). **Figure 2** Impact of reduced recharge (infiltration) on the hydrologic network. Adapted from Goderniaux et al, 2013. **Figure 3** Impact of the cessation of wetland industrial use and a slow climate change (-22% of recharge) on water levels in the catchment.



OLIVIER BOUR

olivier.bour@univ-rennes1.fr

LUC AQUILINA

luc.aquilina@univ-rennes1.fr

TANGUY LE BORGNE

tanguy.le-borgne@univ-rennes1.fr

funded by CLIMAWAT
Interreg Project
and ORE H+

MODELING: A TOOL FOR UNDERSTANDING AND MAKING DECISIONS

Groundwater abstraction impact? Climate change?
Aquifer geometry? Modeling gives clues

Groundwater age

What is the residence time of groundwater in aquifers?

And what can this period imply for recovery of water quality? Clues can be given by dissolved CFC (chlorofluorocarbons) and SF₆ (sulfur hexafluoride). By comparing the dissolved and atmospheric concentrations of these compounds (Figure 4), it is possible to better understand the dynamics of groundwater. Coupling with hydrochemistry, groundwater dating allows the identification of contributing reservoirs and their residence times. Application of these data enables better temporal calibration of hydrogeological models.

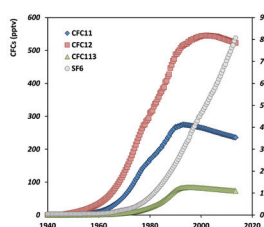


Figure 4 Atmospheric CFC and SF₆ concentrations survey: the younger the groundwater (or a proportion of it) the greater the concentrations of these compounds.

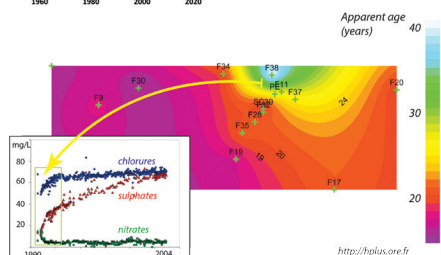


Figure 5 Groundwater apparent age mapping shows the contribution of an old reservoir, which can explain the evolution of pumping well quality.

Hydrogeological modeling is based on the past to predict the future. Whatever the final application, the calibration phase is essential. For water resources modeling, aquifer geometry is a key feature. In fractured aquifers, productivity is highly dependent on geological structure and its geometry. The influence of the dip of the faulting zone, which was suspected through previous field studies, has been validated by modeling: the more sub-vertical the structure is, the less the expected productivity of the resource (PhD thesis of Sarah Leray – Figure 1).

Modeling is the predictive tool. According to current interrogations about climate change, the impact on water resources is a real issue. Most scenarios predict an increase in mean temperature leading to a lowering of recharge – a decrease in the amount of water infiltrating to the soil and groundwater. In headwater catchments or 1st-order watersheds, groundwater is the major input to rivers. In Brittany, the proportion of groundwater in the river can reach 80%. Modeling shows that a decrease in recharge on the small watershed of Brittany will impact the hydrographic network (Figure 2). A 5x decrease in effective recharge (from 500–100mm) leads to a reduced draining area (more or less the rivers) from 39%–10%.

Impact of anthropogenic activities is another domain that is difficult to explore and where modeling is helpful, particularly in the case of groundwater abstraction. Modeling has been conducted to predict the combined effects of moderate climate change and the cessation of wetland industrial use and the associated pumping on river and wetland levels (PhD thesis Antoine Armandine Les Landes). The cessation of pumping in the wetland counterbalances the effect of moderate climate change with moderate decrease of water level and even an increase in the upland river level.

Aquifer modeling is useful in many domains, but it depends upon field measurements including: water level, chemistry, residence time (groundwater age) etc... but afterwards numerical modeling is a predictive tool without comparison.

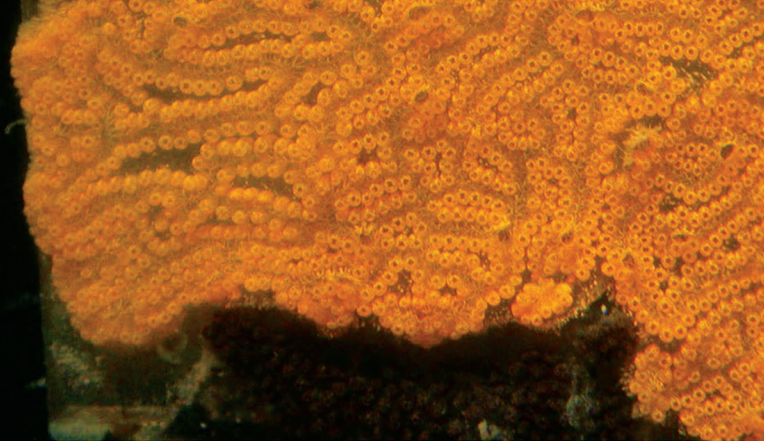
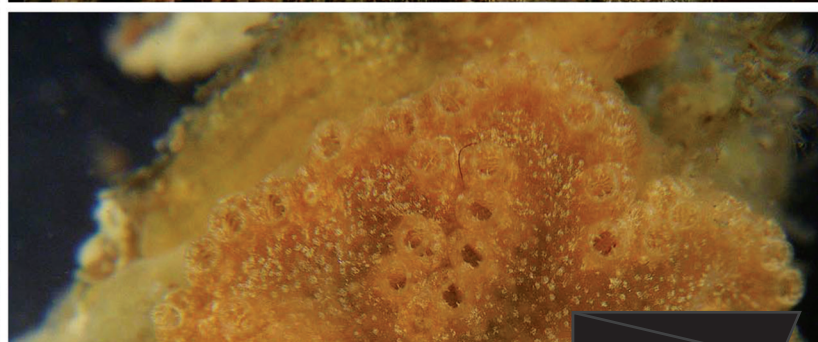


Figure 1 Three species of *Botrylloides*, with the probable undescribed fourth species bottom-right.



NON-INDIGENOUS SPECIES ON THE CHANNEL COAST

The Marinexus project witnessed substantial changes in the marine non-indigenous fauna of the western English Channel in just three years

Species that have been carried beyond their natural geographical range by human activities, either accidentally or deliberately, can modify ecosystems and pose major threats to both economic interests and native biodiversity. The Interreg IVA Marinexus project included appraisal of these non-indigenous species (NIS) in the fouling communities of harbours and marinas — artificial environments in which NIS are particularly prominent and which can act as stepping-stones for spread around the coast and thence into natural habitats. Marine biologists from the laboratories in Plymouth (Devon, UK) and Roscoff (Brittany, France) adopted joint protocols and undertook collaborative work to enable direct comparisons of localities on the two sides of the Channel, in NW Brittany and SW England (Devon & Cornwall).

Methods included deploying settlement panels and conducting standardized timed searches (Rapid Assessment Surveys, RAS) in a series of marinas, both of these activities being repeated to monitor

changes during the project, and the recording of species living on yacht hulls and on the hull and in the ballast tanks of a cross-Channel ferry.

The lists of NIS on the two sides of the Channel were remarkably similar, the great majority of species being present on both sides. Nevertheless, the animal communities developing on panels during one year's immersion in 13 marinas, scored in terms of the space occupied by each species (both indigenous and non-indigenous), were consistently different between Brittany and Devon & Cornwall. The differences reflected the greater prominence in Brittany of 1) many of the NIS and 2) a small number of indigenous species near the northern limit of their geographical range.

RASs of 10 English and seven French marinas were undertaken in 2010 and repeated in 2013. In 2010 in Brittany, most sessile animal NIS in the region were present in most marinas — the species had almost complete 'site occupancy' — and the picture remained the same in 2013, with no overall change (Figure 3). In Devon & Cornwall, occupancy

CONFUSINGLY SIMILAR SPECIES: DNA TO THE RESCUE

DNA-based identification (molecular 'barcoding') has been vital for resolving a group of species that can closely resemble each other

Colonial sea squirts of the genus *Botrylloides* (relatives of the better-known 'Star sea squirt', *Botryllus schlosseri*) include at least two NIS in the Marinexus study region: Orange cloak sea squirt (*B. violaceus*) and San Diego sea squirt (*B. diegensis*) (Figure 1). Both occur in a variety of colour forms, and these species can resemble each other closely and are also difficult to distinguish from the putatively native species *B. leachii*. Molecular barcoding enabled colonies to be classified so that distributions could be clarified and subtle morphological distinctions looked for in well-chosen comparisons of specimens. The DNA sequences also brought to light an overlooked fourth species.

was substantially lower in 2010. However, occupancy had increased by 2013, with more species present at six or more marinas. This change was largely because two species spread to several new marinas in Devon and Cornwall between the surveys: the Compass Sea Squirt (*Asterocarpa humilis*) and the Red Ripple Bryozoan (*Watersipora subtorquata*). In Brittany, both these species were already present in 2010 at all of the marinas surveyed.

Parallel DNA-based population genetic studies on a suite of NIS suggested a common origin of the

populations of each species on the two sides of the Channel, i.e. a shared history of introduction with efficient spread across the Channel following an initial establishment on one or other side. Based on the greater occupancy of habitat patches (marinas) and higher abundances seen in France, it is possible to infer a general recent pattern (since the later years of the last century) of spread of marine NIS from France to England. The documented dates of first records of the species on either side of the Channel broadly confirm this direction of cross-Channel colonization. Before these arrivals, a slower rate of establishment of NIS was recorded throughout most of the 20th Century, during which time the first recorded occurrences were commonly on the English side, in contrast to the post-1970s trend of near-simultaneous discovery on both sides of the Channel or French first records occurring some years ahead of their English counterparts.

The Marinexus studies and earlier records document a cluster of discoveries of new sessile NIS around the turn of the millennium. At least three of these are native to the NW Pacific and are candidates

for introduction to France via commercial movements of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*), albeit with a delay between the peak documented importation to France of oysters from Japan between 1971 and 1975 and discovery of these NIS.

Inspection in marinas of the hulls of over 120 yachts removed from the water for periodic maintenance documented an average of four species of non-indigenous sessile animal per vessel in both Devon and Brittany, with similar lists of species on both sides of the Channel. In keeping with previous studies, 'niche areas' such as the propeller, propeller shaft and lower edge of the keel were important, harbouring some fouling even on otherwise clean yachts.

A picture therefore emerges of England and France sharing a common history of introductions of NIS on their Channel coasts, with a recent burst of new arrivals spreading across the Channel, predominantly northwards, often after only a brief delay. Probable vectors of this spread include leisure craft and cross-Channel commercial vessels such as ferries, with initial introduction to NW Europe often originating from aquaculture-related shipments of commercial species.

Hitch-hiking with oysters

Many of the non-indigenous species arriving since the 1970s are native to the NW Pacific and may have hitch-hiked with imports of the Pacific oyster—the most important commercial oyster worldwide.

JOHN BISHOP

Marine Biological Association (Plymouth)

FRÉDÉRIQUE VIARD

Station Biologique de Roscoff

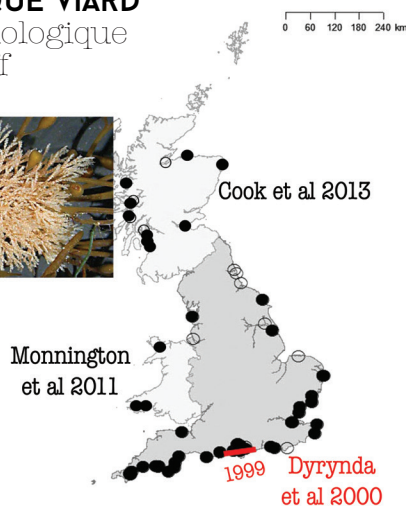


Figure 2 The Tufty-buff bryozoan is the commonest NIS on yachts in both Brittany and Devon and now occurs around the coast of Great Britain (1999 range indicated in red).

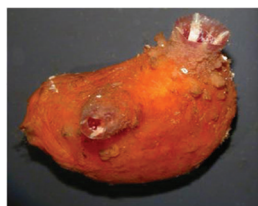
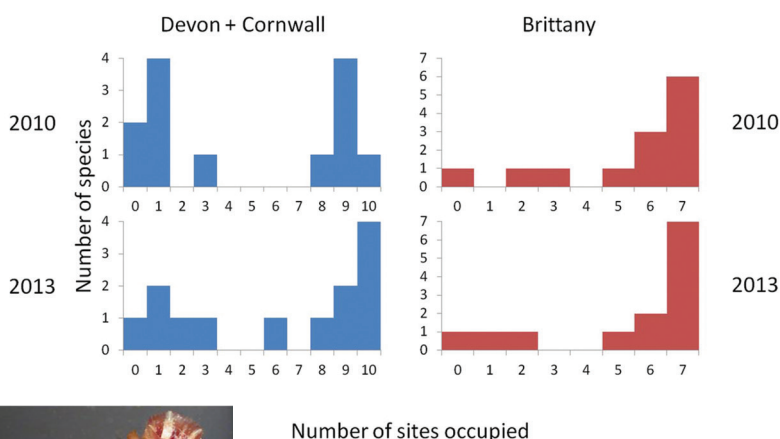


Figure 3 Frequency distribution of 13 NIS based on the number of marina sites occupied by each species in surveys in Devon & Cornwall and Brittany. Inset: the Compass sea squirt, one of the NIS rapidly colonizing sites in England between the two surveys.

A champion hitch-hiker

One moss animal has spread spectacularly fast around the UK, starting from the Channel coast

In the United Kingdom, the Tufty-buff bryozoan (*Tricellaria inopinata*) was first found in a restricted area of the south coast of England in 1998, but within roughly 12 years it had spread around the coast of

Great Britain, reaching as far as both east and west Scotland (See Figure 2, above). This speed seems remarkable for a species that lives permanently attached and releases short-lived non-feeding larvae. But

T. inopinata occurred on 90% of boats in the Marinexus data, particularly favouring niche areas, and its hitch-hiking ability almost certainly enabled this sprint around the coast.

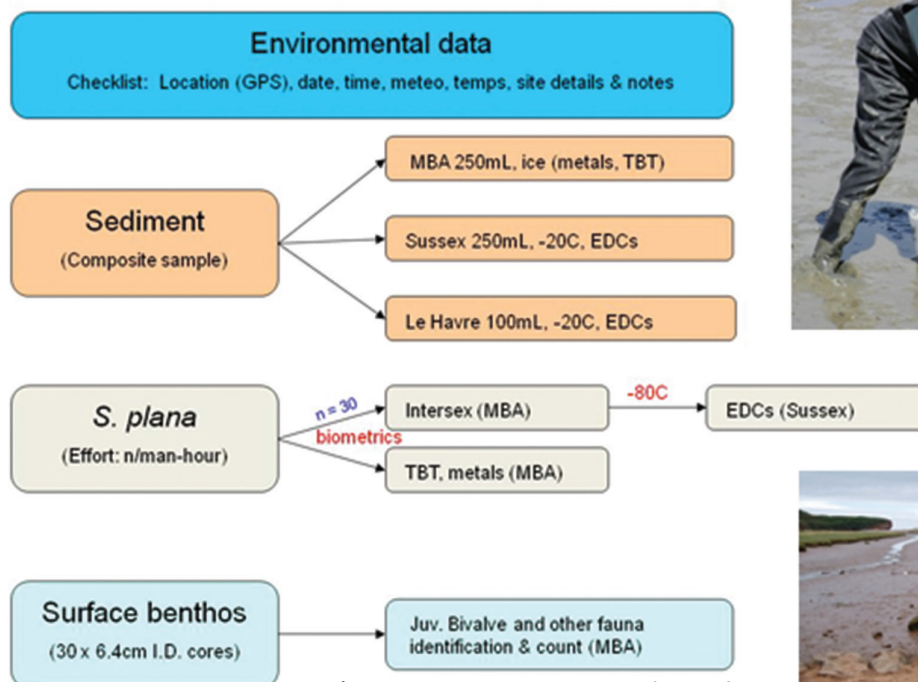


Figure 1 Fieldwork programme for DIESE.

INDICATORS OF ENDOCRINE DISRUPTION IN THE ENGLISH CHANNEL REGION

Endocrine Disruption (ED) is of growing concern. Feminisation of male fish in rivers occurs extensively and has been linked with environmental exposure to endocrine-disrupting compounds (EDC) including oestrogens and oestrogen mimics. However, it is uncertain whether invertebrates, which comprise 95% of all animal species and are central to ecosystem function, are also susceptible. It is therefore important to develop practical tools to screen for ED effects in marine systems. Given previous ED problems in marine snails (TBT-induced imposex) the question of whether anthropogenic activities can influence the sexuality and reproduction of shellfish populations is especially important within the Channel region.

Intersex in clams Populations of the estuarine deposit-feeding bivalve *Scrobicularia plana* usually have equal numbers of male and female individuals, but appear susceptible to some EDCs. Intersex, in the form of ovotestis (presence of eggs in male gonad, see opposite) occurs in some populations and is inducible in

the laboratory by natural oestrogens such as 17 β -oestradiol and hormone mimics such as alkylphenol.

The susceptibility of *S. plana*, coupled with its extensive distribution and central role in ecosystem functioning, makes it a valuable biomonitor for determining ED effects together with broader threats from other contaminants. During our cross-Channel investigations within the INTERREG IVA DIESE project, we focused on developing methods for sampling and analysing clams (Figures 1 & 2) to depict the occurrence and severity of intersex.

The field campaign incorporated sampling of clams, sediments and environmental parameters including grain size, organic matter, organotins and metals (the latter as surrogates of pollution). Sub-samples (sediment and clams) were distributed to DIESE partners for additional chemical and molecular characterisation.

To determine effects on sexuality of clams, several easy-to-use indices were developed: Sex ratio, frequency and severity of intersex (opposite), and oocyte size is measured by examining gonad histology (light

microscopy) from 30 clams at each site. The scale of intersex severity ranges from a single oocyte in a field of view to whole follicles of oocytes alongside follicles filled with sperm. Parasitism is also screened in each individual to evaluate any links with intersex and overall condition (tissue weight as a function of shell length).

Intersex was found to occur widely in *S. plana* on both sides of the Channel: 37 of 71 UK populations were affected (52%) and 26 of 37 French populations (70%), giving an overall total of 63 out of 108 (58%) sites affected. *S. plana* therefore appears to be an excellent indicator organism to study responses to EDC and other chemicals. Whilst intersex was mostly at a low level (10% or less of males affected) there are sites where frequency is well above background (50% of males affected) and severity (mean intersex index) is elevated. At a small number of sites, population sex ratios were significantly skewed from 1:1 (sometimes towards females, sometimes males), most likely as a result of anthropogenic influence. High levels of intersex in

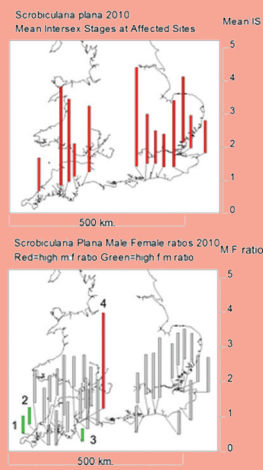


Figure 2 DIESE sampling sites 2009-2011 (top): *Scrobicularia plana* populations with intersex are depicted by red stars (unaffected sites by green stars). Maps (for 2010) showing mean intersex severity (top right) and altered sex ratios (bottom right- with populations skewed towards males in red and females in green).

INTERSEX MEASUREMENT

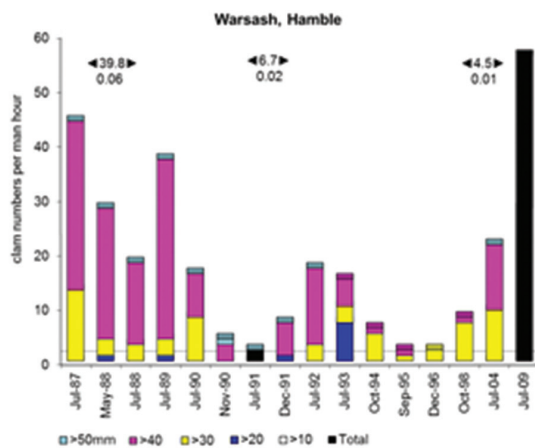


Figure 3 *Scrobicularia plana*. Abundance of clams at Warsash, Hamble Estuary, 1978-2009, showing decline and recovery in relation to TBT contamination. Upper numbers above bars are mean TBT seawater concentrations (ng Sn l⁻¹) for periods 1988-1988, 1990-1992, 2000-2009 (left to right). Lower numbers are mean sediment TBT concentrations (µg Sn g⁻¹) for the same periods. Data in 2009 (collected for DIESE) are total clam numbers only; numbers of different sized clams (10mm intervals) are indicated at other times.

DR NICK POPE
ndpo@mba.ac.uk

DR BILL LANGSTON
wjl@mba.ac.uk

Marine Biological Association
Citadel Hill, Plymouth, PL1 2PB

The authors would like to acknowledge the EU (INTERREG IVA programme) for their support



the Severn estuary were accompanied by low abundance of *S. plana*. However, more work is required to confirm the links between intersex, fecundity and population consequences, and to define the impacts in terms of catchment characteristics.

Causes and Mechanisms Intersex in *S. plana* is inducible following laboratory exposure to (xeno)estrogens. These EDCs are present in domestic, industrial and agricultural effluents. Whilst we are currently unsure which human activities are predominantly responsible for altered clam sexuality in the field, 'hotspots' appear linked to centres of urbanization/industry (for example in the Severn Estuary). Intersex trends in the Avon Estuary (South Devon, UK) also imply a link with agriculture.

Sediment chemistry is helping to evaluate causes. Widespread anti-androgenic activity occurs at a number of DIESE sites (Collaborative studies with Professor Elizabeth Hill, Sussex University) suggesting widespread contamination with chemicals that have the potential to feminise clams. However, anti-androgen contamination and the incidence of intersexuality in *S. plana* are not strongly correlated in these samples. Exposure trials with model anti-androgens suggest only weak feminising effects in clam gonadal tissue. However, this could be enhanced in the field by additive or synergistic effects with oestrogenic compounds.

Gene expression studies in intersexed clams are also helping to address intersex mechanisms. Suppressive Subtraction Hybridization (Prof Jeanette Rotchell, Dr Corina Ciocan) has identified 13 genes in *S. plana* which are up-regulated in the intersex condition (and are of potential diagnostic use in highlighting pathways affected).

In summary, in *S. plana* we now have a viable model organism to look for evidence of reproductive impact in the field, and to establish links between intersexuality and anthropogenic sources within catchments. Future studies will combine effects on individuals (intersex) with population-level consequences and explore connections with environmental chemistry and human activities. In this context *S. plana* has already proved to be an excellent model to monitor population impact (and recovery) from TBT pollution in estuarine sediments and may prove equally useful in evaluating emerging ED threats. Scientific knowledge from this project is expected to be incorporated into aquatic environment health assessment and will be shared with researchers, regulatory agencies, industry and the general public in order to help standardize regulatory actions, improve environmental management and ensure sustainable development.

THE COMET ASSAY: A SIMPLE METHOD TO MEASURE DNA DAMAGE

Environmental risk assessment and using the COMET assay to detect damage at the population level

Due to an increasing global human population, currently over seven billion, the use of chemicals through anthropogenic usage (human production) and, consequently, contaminant input to the aquatic environment is increasing. Contaminants in the aquatic environment are found in various matrices, such as sediment, water and biological samples, where exposure often occurring as complex mixtures. Contaminant burden in aquatic organisms can inform us of the amount of chemicals organisms have been exposed to, but provides no information about the biological and ecological consequences of contaminant exposure, thereby underlying the need for biological diagnostic tools. To appropriately diagnose the effects on organism populations, the target system with which to monitor biological damage would be to assess effects at the genetic level, thereby, the DNA, where the genetic information is stored.

DNA exists as a superhelix or coil; contaminant-induced damage results in breaks in the DNA structure, known as single or double-strand breaks (SSB and DSB). Such breaks could give rise to Chromosomal aberrations (CA) which, if left unrepaired or even mis-repaired, may lead to cell death or apoptosis. DNA strand breaks could lead to heritable changes, underlying the importance of this assay to assess population level effects, notably reproductive success (i.e. fertility and fecundity).

To assess DNA damage via DNA strand breaks, the assay involves isolation of cells in a low-melting point agarose gel suspension, lysis of the cells in alkaline conditions (pH >13) and electrophoresis of the suspended lysed cells. The principle of the technique is to induce relation of the negatively-charged DNA supercoils where breaks are apparent. The higher the amount of DNA breaks leads to the greater distance of migration within the gel to the positive electrode (the anode). Conversely, if the DNA was undamaged the superhelix would be unable to 'relax' and uncoil, therefore leading to the lack of migration. By determining the relative amount of DNA migrated provides a simple method to measure the DNA breaks in an individual cell. To visualize the extent of the DNA damage post-electrophoresis, various techniques are employed. The most common is a fluorescent dye, Ethidium bromide (EtBr). The aptly-named COMET assay is due to the appearance of 'comet heads' containing the high molecular weight DNA and the 'comet tail' containing the leading end of molecular fragments (see Figure 1).

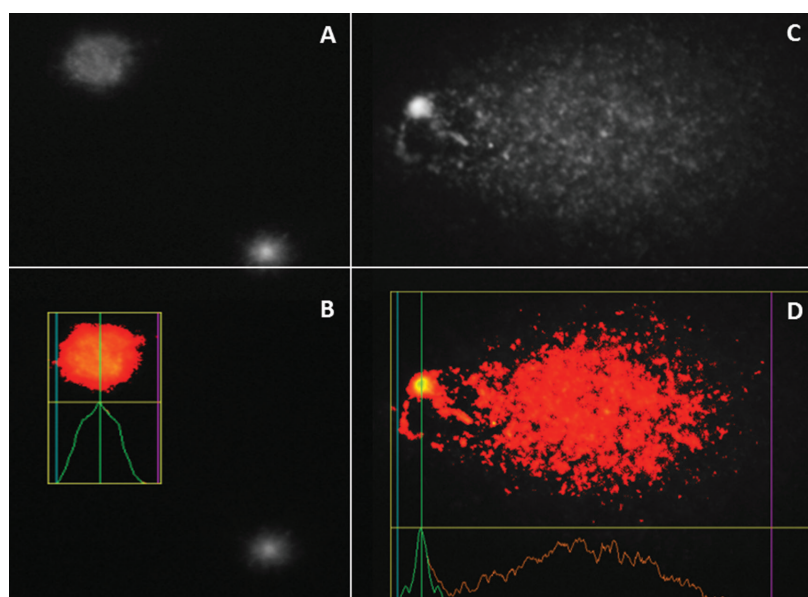


Figure 1 DNA damage in mussel haemocytes. A) Undamaged cells as shown by comet heads; (C) comets with long tails regions, thereby high DNA damage. Pixelated areas highlight parameters needed to quantify DNA damage, shown in panels B and D, respectively.

GLOSSARY

Apoptosis Programmed cell death • **CA** Chromosomal aberrations resulting in any change in the normal structure or number of chromosomes • **DNA** Deoxyribonucleic acid • **SSB/DSB** Single/double strand breaks in DNA • **Electrophoresis** a separation method of ion movement in fluid under the influence of an electric field.

AWANTHA DISSANAYAKE
Plymouth University

COMET assay: diagnostic applicability:
The COMET or single cell gel electrophoresis assay can be used for measuring genotoxicity, investigating DNA repair, or monitoring populations for exposure against environmental mutagens.

COMET assay: applicability in environmental risk assessments

The COMET or single cell gel electrophoresis (SCGE) assay has developed from a detection technique to assess DNA damage in mammalian cells, in a medical context, to a widely-used standardised technique in environmental monitoring, both in terrestrial and aquatic contexts. Bioindicator organisms where the COMET assay has been applied ranges widely from human cells, earthworms, bivalve molluscs and small invertebrates, such as daphnia and amphipods. Target cells include, gill cells, digestive gland and blood cells, such as invertebrate haemolymph.

TEST DES COMÈTES : UNE MÉTHODE SIMPLE POUR MESURER LES DÉGÂTS CAUSÉS À L'ADN

Évaluation des risques environnementaux et utilisation du test des comètes pour détecter les dégâts causés au sein d'une population

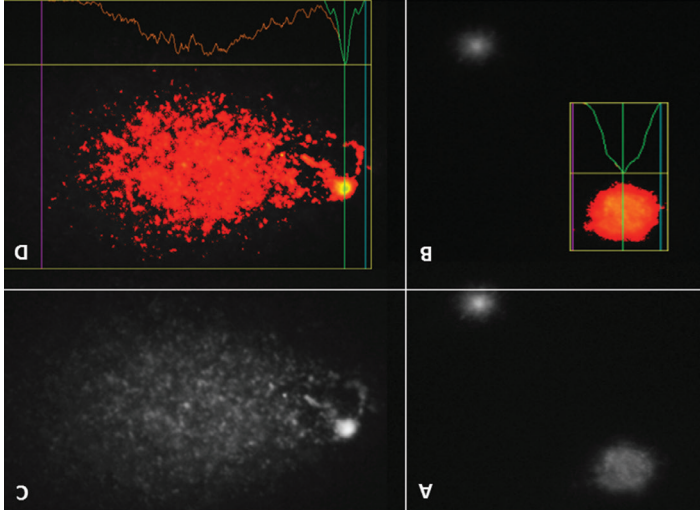


Figure 1 Dégâts causés à l'ADN dans un hémocyte de moule. A) Cellules intactes, indiquées par la tête de comète. B) Comètes avec longues régions caudales, là où les dommages à l'ADN sont les plus importants. La zone pixelisée indique les paramètres requis pour quantifier les dégâts à l'ADN, présentes dans les panneaux B et D.

GLOSSAIRE

Apoptose mort programmée de la cellule • **AC** Aberration chromosomiques conduisant à des changements dans la structure normale de certains chromosomes • **ADN** acide désoxyribonucéique • **CSB/CDB** • cassure simple/double des brins d'ADN • **Electrophorèse** méthodes de séparation par mouvement d'ions, dans un fluide ou un gel, sous l'influence d'un champ électrique.

AWANTHA DISSANAYAKE
Plymouth University

Test des comètes: application pour l'évaluation des risques environnementaux

Test des comètes: application du diagnostic
Le test des comètes, ou gel d'electrophorèse sur cellule unique, peut être utilisé pour mesurer la genotoxicité, observer la réparation de l'ADN, ou encore contrôler la santé d'une population exposée à des mutagènes environnementaux.

Le test des comètes, ou gel d'electrophorèse pour cellule unique (SCGE en anglais), a été développé à partir d'une méthode de détection de dégâts dans l'ADN de cellules de mammifères dans un contexte médical. Il est maintenant utilisé comme une méthode de suivi environnemental à la fois en milieu aquatique que terrestre. De nombreux organismes bioindicateurs, dont des cellules humaines, vers de terres, mollusques bivalves et petits invertébrés (des Daphnia ou des amphipodes) ont été soumis au test des comètes. Les cellules ciblées peuvent provenir de branchies, de glandes digestives ou du sang (ou de l'hémolymphe chez les invertébrés).

Du fait de la croissance de la population humaine sur Terre, dépassant maintenant les 7 milliards d'individus, l'utilisation de produits chimiques dans les activités humaines, et surtout leur concentration dans le milieu aquatique, augmente. Ces produits, souvent des polluants, se retrouvent dans l'environnement dans les milieux sédimentaires, dans l'eau, et dans les échantillons biologiques exposés à des mélanges complexes.

La concentration des contaminants dans les organismes aquatiques peut renseigner sur la quantité de contaminants auxquels ceux-ci ont été exposés, mais elle ne fournit pas d'information sur les conséquences biologiques ou écologiques de l'exposition à ces contaminants. Ce manque souligne le besoin de créer des outils diagnostiques biologiques. Le moyen le plus adapté pour visualiser les dégâts biologiques et diagnostiquer les effets des contaminants sur des populations d'organismes est de cibler les gènes ou autrement dit observer l'ADN qui les contient.

La structure de la molécule d'ADN est une double-hélice composée de deux brins complémentaires. Les dégâts causés par des contaminants provoquent des cassures dans la structure de l'ADN, appelées cassure simple brin ou cassure double brin (CSB et CDB, respectivement).

Ces cassures sont elles-mêmes la source d'aberrations chromosomiques (AC) lorsqu'elles ne sont pas ou mal réparées et peuvent ainsi causer la mort ou l'apoptose de la cellule. Les cassures des brins d'ADN peuvent être héréditaires. Le test est donc important pour évaluer leurs effets sur les populations et surtout de leurs capacités à se reproduire.

Pour estimer les dégâts causés par les cassures des brins d'ADN, le test commence par isoler les cellules dans une suspension de gel d'agarose à bas point de fusion. Les cellules sont ensuite lysées en étant soumises à un agent alcalin (pH > 13) puis subissent une électrophorèse. Le but est d'induire la liaison des brins, chargés négativement.

Là où les cassures sont apparentes. Plus il y a de cassures, plus la distance de migration des brins vers l'électrode positive (anode) est importante. À l'inverse, la double hélice intacte est incapable de se dérouler ce qui l'empêche de migrer. Quantifier cette migration de manière relative est une façon simple de mesurer les cassures dans l'ADN d'une cellule. Diverses méthodes de visualisation sont utilisées pour observer l'étendue des dégâts causés à l'ADN après l'électrophorèse, la méthode la couramment utilisée étant de marquer l'ADN avec un colorant fluorescent, le bromure d'éthidium (BET). Le test des comètes tient son nom des têtes de comètes (là où se trouve l'ADN à forte masse moléculaire) et des queues de comète (les fragments ayant migrés) qui apparaissent sur le gel.

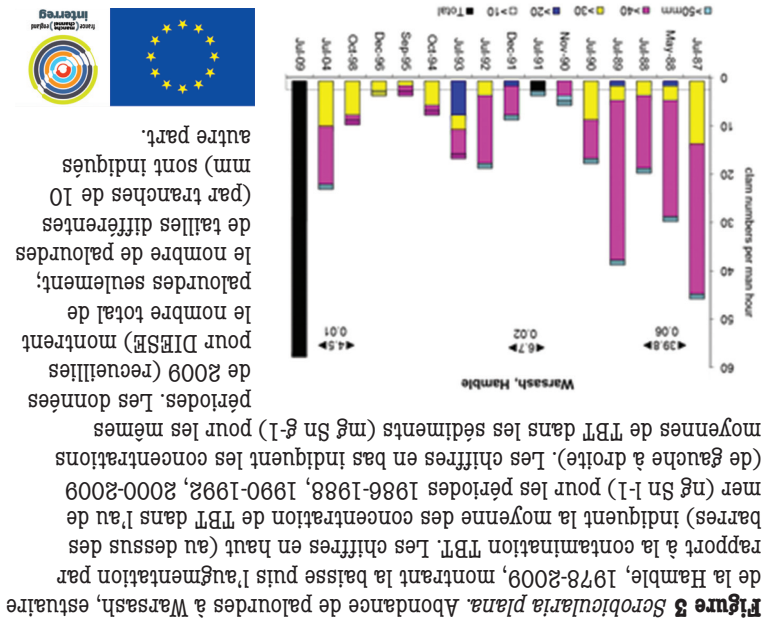
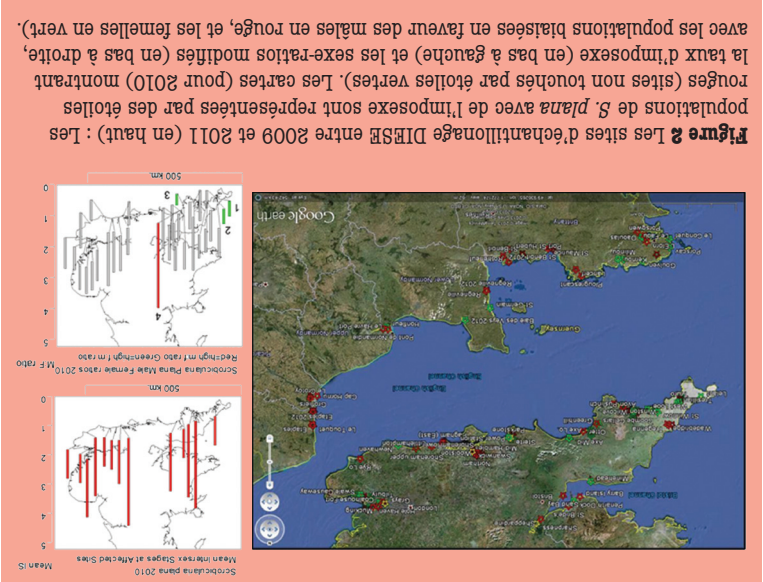
accompagnés par une faible abondance de *S. plana* ; cependant, plus de travail est nécessaire pour confirmer les liens entre les individus imposex, la fécondité et les conséquences sur la population afin de cerner les impacts plus généralement sur les bassins versants.

Causes et mécanismes. Imposex chez *S. plana* peut être déclenché suite à l'exposition en laboratoire à des (xéno)œstrogènes. Ces perturbateurs endocriniens sont fréquemment trouvés dans des effluents domestiques, industriels et agricoles. Même si nous ne sommes pas encore certains de quelles activités humaines sont principalement responsables des changements de sexualité chez les palourdes, nous avons remarqué de fortes tendances dans certaines zones urbaines et industrielles (par exemple dans l'estuaire de la Severn). De tendances similaires dans l'estuaire Avon (sud du Devon) suggèrent également un lien avec l'agriculture.

La composition chimique de sédiments aide à évaluer les causes. Des activités anti-androgéniques ont lieu à différents sites Dièse (études en collaboration avec le professeur Elizabeth Hill, l'Université du Sussex) suggérant une contamination généralisée avec des produits chimiques qui peuvent féminiser les palourdes. Cependant, la contamination anti-androgène et l'incidence de l'imposex chez *S. plana* ne sont pas fortement corrélées dans ces échantillons. Des essais de l'exposition avec des anti-androgènes types suggèrent que les effets de féminisation sont assez faibles dans les tissus des gonades de palourde. Toutefois, cela pourrait être plus fort dans le terrain suite aux effets additifs ou synergiques avec des composés ostrogéniques.

Des études d'expression des gènes dans les palourdes imposex contribuent également à comprendre les mécanismes du phénomène. Des études d'hybridation (Suppressive Subtraction Hybridization – Prof. Jeanette Rotchell, Dr Corina Cioacan) ont identifié 13 gènes dans *S. plana* qui sont plus régulés dans l'état d'imposex (et peuvent potentiellement être utilisés pour des tests diagnostiques pour identifier les chemins affectés).

En résumé, *S. plana* nous fournit une organisation type et viable qui peut nous aider à comprendre l'impact de la reproduction sur le terrain, et d'établir des liens entre l'imposex et les sources anthropiques dans les bassins versants. Des études futures pourront combiner les effets sur les individus (imposex) avec des conséquences au niveau de la population, et explorer les liens avec la l'environnement chimique et les activités humaines. Dans ce contexte, *S. plana* s'est déjà avéré un excellent modèle pour étudier l'impact sur les populations de la pollution TBT dans les sédiments de l'estuariens et peut également être utile pour évaluer les menaces à de perturbateurs endocriniens émergents. La connaissance scientifique de ce projet devrait être intégrée dans une évaluation du milieu marin par rapport à la santé de l'environnement et sera partagée avec les chercheurs, les organismes de réglementation, l'industrie et le grand public afin d'aider à aligner différentes mesures réglementaires, d'améliorer la gestion de l'environnement et assurer un développement durable.



DR NICK POPE ndpo@mba.ac.uk
DR BILL LANGSTON wjl@mba.ac.uk

Marine Biological Association
Citadel Hill, Plymouth, PL1 2PB
Les auteurs remercient l'Union Européenne (INTERREG IVA programme) pour son financement

a perturbation endocrinienne (PE) devient de plus en plus inquiétante. La féminisation de poissons mâles dans les rivières survient régulièrement et il a été établi qu'elle est liée à la présence dans l'environnement de substances contenant des perturbateurs endocriens (SCPE) tels que l'estrogène ou des composants l'imitant. Cependant, il n'a pas été encore établi si les invertébrés, qui représentent 95% de toutes les espèces animales et sont ont une présence fondamentale au sein d'écosystèmes, sont également sensibles à ces substances. Il est donc important de développer des outils adaptés pour dépister les effets des SCPE en milieux marins. Etant donné les problèmes déjà rencontrés avec l'imposex dans les escargots de mers (causé par des substances TBT), la question de savoir si les activités humaines peuvent influencer la sexualité et la reproduction des populations de crustacés est particulièrement importante dans la région de la Manche.

L'imposex chez les palourdes

Les populations estuariennes du mollusque bivalve *Scrobicularia plana* ont en général un nombre égal d'individus mâles et femelles, mais elle semblent être sensibles à certains perturbateurs endocriens. L'imposex, sous forme d'ovotestis (présence d'œufs dans une gonade mâle – voir l'encadré) apparaît dans certaines populations et peut

être induit, en laboratoire, avec des œstrogènes naturels comme 17β-oestradiol ou des composants imitant des hormones comme des alkylphénols.

La sensibilité de *S. plana*, sa vaste répartition et son rôle central dans le fonctionnement d'écosystèmes font de la palourde un indicateur biologique précieux pour aider à définir les effets de perturbateurs endocriens et les menaces plus générales d'autres contaminants. Au cours de nos travaux effectués de part et d'autre de la Manche au sein du projet INTERREG IVA DIESE, nous avons développé des méthodes pour échantillonner et analyser les palourdes (Figures 1 & 2) afin de définir la fréquence et la gravité du phénomène d'imposex dans ces populations.

L'échantillonnage de palourdes, sédiments et les paramètres environnementaux, tels que la taille du sable et de la matière organique, les composés organostanniques et les métaux (ces dernier en tant que substitués de la pollution) a constitué le cœur du travail sur le terrain. Des sous-échantillons (sédiments et palourdes) ont été distribués aux partenaires DIESE qui ont pu effectuer un caractérisation moléculaire et chimique supplémentaire.

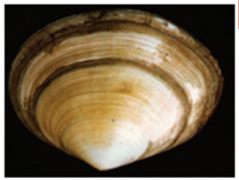
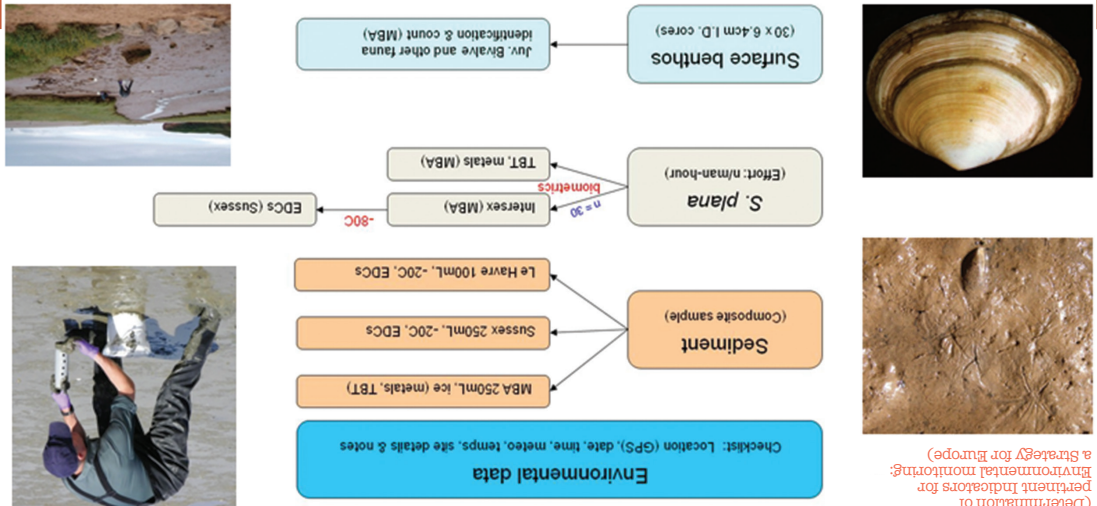
Afin de déterminer les effets sur la sexualité des palourdes, plusieurs indicateurs faciles à utiliser ont été développés : le sexe-ratio, la présence et fréquence l'imposex (voir encadré

1), et la taille de l'ovocyte est mesurée en examinant histologie des gonades (à l'aide d'un microscope) pour 30 palourdes sur chaque site. Le degré de présence d'imposex varie d'un seul ovocyte à la présence de follicules d'ovocytes entier à côté de follicules remplis de sperme. Le parasitisme est également contrôlé pour chaque pour voir s'il y a lien entre la condition générale de la palourde et la possibilité d'imposex (poids des tissus par rapport à la longueur de la coque).

L'imposex a été largement trouvé dans *S. plana* de part et d'autre de la Manche : 37 populations sur 71 (soit 52%) étaient atteintes au Royaume-Uni, et 26 populations sur 37 (soit 70%) en France. Toutes côtes confondues, 63 populations sur 108 (soit 58%) étaient atteintes. *S. plana* semble donc être un excellent indicateur biologique pour étudier les effets de perturbateurs endocriens et d'autre composés chimiques. Tandis que la proportion d'imposex restait globalement assez faible (seulement 10% ou moins des mâles), un taux allant jusqu'à 50% a été observé sur certains sites et le taux moyen retrouvé reste élevé (taux moyen t'imposex). Sur un petit nombre de sites, les sexe-ratios au sein de populations était très déséquilibré par rapport à la moyenne 1/1 : le ratio observé était biaisé tantôt chez le mâles, ou tantôt chez les femelles, et est très probablement dû à l'activité humaine. Des niveaux élevés d'imposex l'estuaire de la Severn était

LES INDICATEURS DE PERTURBATION ENDOCRINIENNE DANS LA MANCHE ET SA RÉGION

PROGRAMME DE TRAVAIL DU PROJET DIESE



(Determination of persistent indicators for environmental monitoring; a Strategy for Europe)

animaux sessiles répertoriées dans la région étaient

présentes dans la majorité des ports étudiés — les

espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi

maximal — une observation également faite en 2013

(Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la

Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était

considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des

sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand

nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas.

Ce changement est largement associé à la propagation

de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du

Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements :

l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire

encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

Des approches de génétique de populations basées

sur l'étude de l'ADN ont été menées en parallèle sur

une série d'ENI : pour chaque espèce, elles suggèrent

une histoire d'introduction commune des populations

établies de part et d'autre de la Manche. En se basant

sur les plus grand taux d'occupation de sites (ports de

plaisance) et les plus grandes abondances observées

en France, les résultats suggèrent un schéma de

propagation initiale des ENI marines depuis la France

vers l'Angleterre (depuis les

dernières années du siècle

dernier). Les dates

connues des premières

observations des ENI

de part et d'autre

généralement en

accord avec ce sens

de colonisation trans-

Manche. Avant

l'huile creuse étant l'huile la

plus commercialisée

au monde.

En auto-stop avec

des huîtres

Beaucoup des ENI animales

et algues arrivées depuis les

années 1970 Nord-Ouest et pourraient

Pacifique en auto-stop avec

les huîtres creuses lors de

l'importation de ces dernières

l'huile creuse étant l'huile la

plus commercialisée

au monde.

En auto-stop avec

des huîtres

Beaucoup des ENI animales

et algues arrivées depuis les

années 1970 Nord-Ouest et pourraient

Pacifique en auto-stop avec

les huîtres creuses lors de

l'importation de ces dernières

l'huile creuse étant l'huile la

plus commercialisée

au monde.

En auto-stop avec

des huîtres

Beaucoup des ENI animales

et algues arrivées depuis les

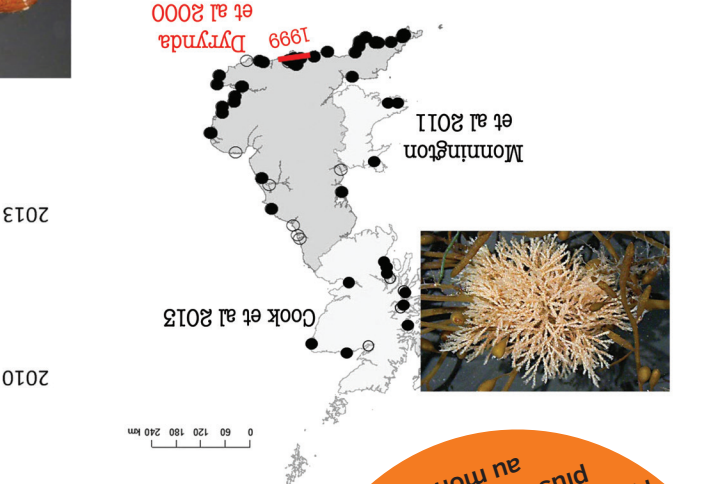
années 1970 Nord-Ouest et pourraient

Pacifique en auto-stop avec

les huîtres creuses lors de

Un champion de l'auto-stop

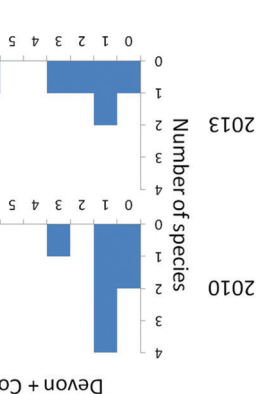
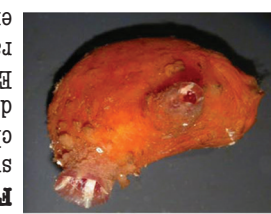
Figure 2 La bugule inopinée est l'ENI la plus commune sur les bateaux de plaisance en Bretagne et dans le Devon ; elle est désormais présente tout autour des côtes de Grande-Bretagne (aire de répartition en 1999 indiquée en rouge).



animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

Des approches de génétique de populations basées sur l'étude de l'ADN ont été menées en parallèle sur une série d'ENI : pour chaque espèce, elles suggèrent une histoire d'introduction commune des populations établies de part et d'autre de la Manche. En se basant sur les plus grand taux d'occupation de sites (ports de plaisance) et les plus grandes abondances observées en France, les résultats suggèrent un schéma de propagation initiale des ENI marines depuis la France vers l'Angleterre (depuis les dernières années du siècle dernier). Les dates connues des premières observations des ENI de part et d'autre généralement en accord avec ce sens de colonisation trans-Manche. Avant l'huile creuse étant l'huile la plus commercialisée au monde.

En auto-stop avec des huîtres

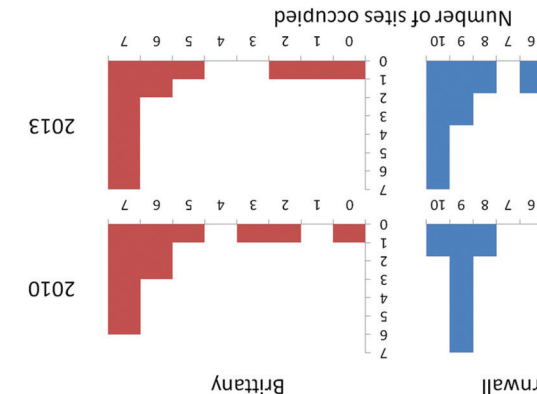


animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

Des approches de génétique de populations basées sur l'étude de l'ADN ont été menées en parallèle sur une série d'ENI : pour chaque espèce, elles suggèrent une histoire d'introduction commune des populations établies de part et d'autre de la Manche. En se basant sur les plus grand taux d'occupation de sites (ports de plaisance) et les plus grandes abondances observées en France, les résultats suggèrent un schéma de propagation initiale des ENI marines depuis la France vers l'Angleterre (depuis les dernières années du siècle dernier). Les dates connues des premières observations des ENI de part et d'autre généralement en accord avec ce sens de colonisation trans-Manche. Avant l'huile creuse étant l'huile la plus commercialisée au monde.

En auto-stop avec des huîtres

Figure 3 Distribution de fréquence de 15 ENI basées sur le nombre de ports de plaisance occupés par chaque espèce, durant les recensements effectués dans le Devon & la Cornouailles et en Bretagne. En haut : L'ascidie boussole, l'une des ENI ayant rapidement colonisé de nouveaux sites en Angleterre entre les deux recensements réalisés.



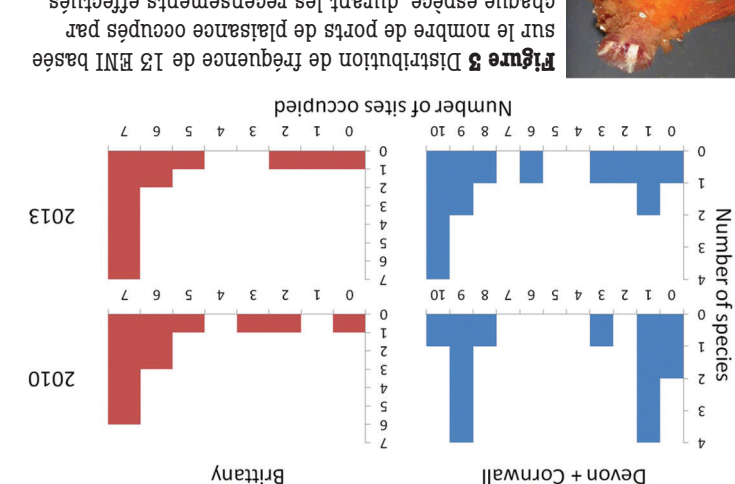
animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

Des approches de génétique de populations basées sur l'étude de l'ADN ont été menées en parallèle sur une série d'ENI : pour chaque espèce, elles suggèrent une histoire d'introduction commune des populations établies de part et d'autre de la Manche. En se basant sur les plus grand taux d'occupation de sites (ports de plaisance) et les plus grandes abondances observées en France, les résultats suggèrent un schéma de propagation initiale des ENI marines depuis la France vers l'Angleterre (depuis les dernières années du siècle dernier). Les dates connues des premières observations des ENI de part et d'autre généralement en accord avec ce sens de colonisation trans-Manche. Avant l'huile creuse étant l'huile la plus commercialisée au monde.

En auto-stop avec des huîtres

Un petit animal colonial s'est propagé de façon spectaculaire au Royaume-Uni, en partant des côtes de la Manche

animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.



animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

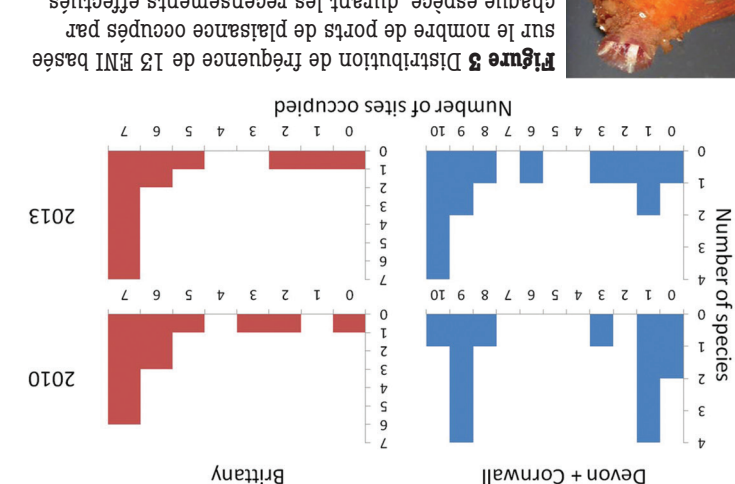
Des approches de génétique de populations basées sur l'étude de l'ADN ont été menées en parallèle sur une série d'ENI : pour chaque espèce, elles suggèrent une histoire d'introduction commune des populations établies de part et d'autre de la Manche. En se basant sur les plus grand taux d'occupation de sites (ports de plaisance) et les plus grandes abondances observées en France, les résultats suggèrent un schéma de propagation initiale des ENI marines depuis la France vers l'Angleterre (depuis les dernières années du siècle dernier). Les dates connues des premières observations des ENI de part et d'autre généralement en accord avec ce sens de colonisation trans-Manche. Avant l'huile creuse étant l'huile la plus commercialisée au monde.

En auto-stop avec des huîtres

animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

Un petit animal colonial s'est propagé de façon spectaculaire au Royaume-Uni, en partant des côtes de la Manche

animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.



animaux sessiles répertoriées dans la région étaient présentes dans la majorité des ports étudiés — les espèces avaient un taux d'occupation de sites quasi maximal — une observation également faite en 2013 (Figure 3). En revanche, en 2010, dans le Devon & la Cornouailles, l'occupation des sites par les ENI était considérablement plus basse. Ce taux d'occupation des sites a toutefois augmenté en 2013, avec un plus grand nombre d'espèces présentes dans plus de 6 marinas. Ce changement est largement associé à la propagation de deux espèces dans plusieurs ports de plaisance du Devon & de la Cornouailles entre les deux recensements : l'ascidie boussole *Asterocarpa humilis* et le bryzoaire encroûtant rouge *Watersipora subtorquata*.

Des approches de génétique de populations basées sur l'étude de l'ADN ont été menées en parallèle sur une série d'ENI : pour chaque espèce, elles suggèrent une histoire d'introduction commune des populations établies de part et d'autre de la Manche. En se basant sur les plus grand taux d'occupation de sites (ports de plaisance) et les plus grandes abondances observées en France, les résultats suggèrent un schéma de propagation initiale des ENI marines depuis la France vers l'Angleterre (depuis les dernières années du siècle dernier). Les dates connues des premières observations des ENI de part et d'autre généralement en accord avec ce sens de colonisation trans-Manche. Avant l'huile creuse étant l'huile la plus commercialisée au monde.

En auto-stop avec des huîtres

es espèces transportées accidentellement ou délibérément par des activités humaines au-delà de leur aire de répartition géographique naturelle peuvent modifier les écosystèmes et engendrer des menaces majeures vis-à-vis d'enjeux économiques et sur la biodiversité locale. Un volet du projet Interreg IWA Marinexus portait sur ces espèces non-indigènes (ENI) dans les communautés sessiles formant les bio-salissures (« biofouling ») présentes dans les ports et marinas — des habitats artificiels dans lesquels les ENI sont particulièrement abondantes et qui peuvent servir de tremplins à la propagation des ENI le long des côtes, y compris dans les milieux naturels. Des biologistes marins travaillant dans les laboratoires de Plymouth (Devon, Royaume-Uni) et de Roscoff (Bretagne, France) ont adopté des protocoles communs et entrepris un travail collaboratif pour comparer les résultats obtenus dans des localités situées de part et d'autre de la Manche, dans le Nord-Ouest de la Bretagne et le Sud-Ouest de l'Angleterre (Devon & Cornouailles).

Les méthodes utilisées incluaient le déploiement de panneaux de colonisation et la réalisation de protocoles normalisés de recensement d'espèces en temps limité (Rapid Assessment Surveys, RAS) dans une série de ports de plaisance. Ces deux approches ont été répétées pour documenter d'éventuels changements au cours du projet. De plus, un recensement des espèces trouvées sur les coques des bateaux de plaisance et sur la coque et dans les ballasts d'un ferry traversant la Manche a été réalisé.

La liste des ENI de part et d'autre de la Manche s'est avérée être remarquablement similaire : la plupart des espèces étant présente à la fois sur les côtes françaises et britanniques. Néanmoins, les communautés animales qui se sont développées sur les panneaux, durant une année d'immersion dans 13 marinas, et qui ont été analysées en termes d'espace occupé par chaque espèce (indigène et non-indigène), sont clairement différentes entre la Bretagne et le Devon & la Cornouailles. Les différences reflètent une présence plus importante en Bretagne (1) de nombreuses ENI et (2) d'un petit nombre d'espèces indigènes proches de la limite nord de leur aire de répartition géographique.

Les RAS réalisés dans 10 ports de plaisance anglais et 7 français ont été effectués en 2010 et 2013. En 2010, en Bretagne, la plupart des ENI

LES ESPÈCES NON-INDIGÈNES DES CÔTES DE LA MANCHE

Le projet Marinexus a mis en lumière des changements importants, survenus en seulement trois ans, de la faune marine non-indigène de la Manche Occidentale

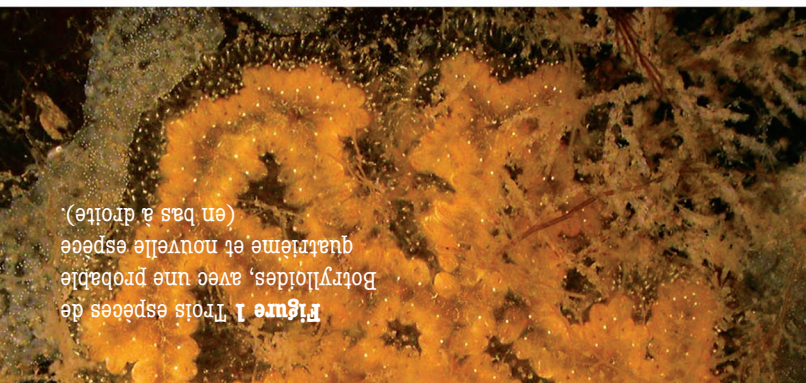
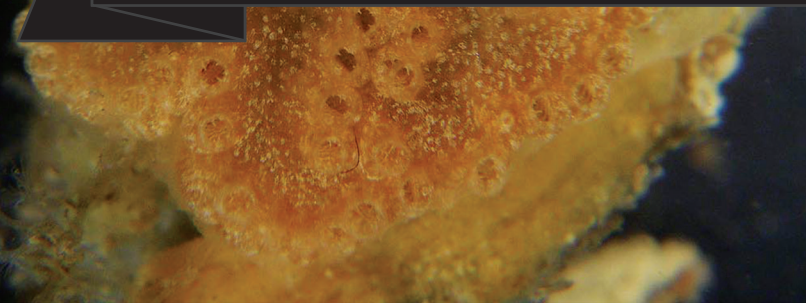
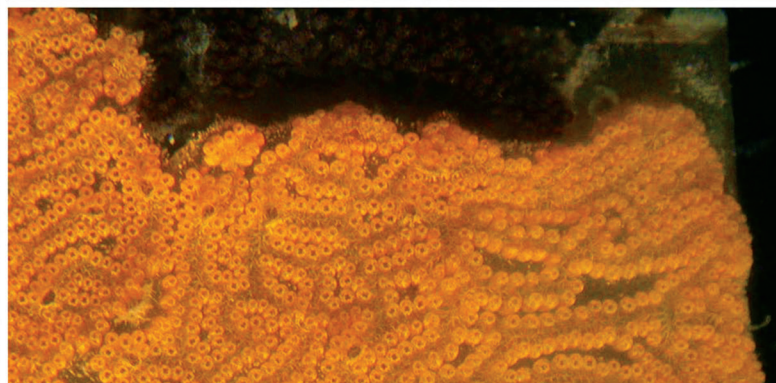


Figure 1 Trois espèces de Botryllodes, avec une probable quatrième et nouvelle espèce (en bas à droite).

DES ESPÈCES QUI SE RESSEMBLENT À SY MÉPRENDRE: L'ADN À LA RESCOUSSE

L'identification des espèces à partir de leur ADN (code-barre génétique ou « barcode moléculaire ») a été déterminante pour identifier un groupe d'espèces polymorphes se ressemblant fortement

Les ascidies coloniales du genre *Botrylloides* (apparentées à l'ascidie plus connue *Botryllus schlosseri*: le botrylle étoilé) incluent au moins deux ENI trouvées dans la région d'étude de Marinexus: le botrylle violet *B. violaceus* et l'ascidie de San Diego *B. diagensis* (Fig. 1). Ces deux espèces présentent une variété de morphes de couleur et peuvent se ressembler fortement. Elles sont également difficiles à différencier de l'espèce supposée indigène, *B. leachi*. Le « barcoding » moléculaire a permis de catégoriser les colonies, permettant ensuite de préciser leurs distributions. Les séquences ADN ont aussi permis la découverte parmi les spécimens étudiés d'une quatrième espèce jusqu'alors inconnue.

JOHN BISHOP

Marine Biological Association (Plymouth)

FRÉDÉRIQUE VIARD

Station Biologique de Roscoff

En Bretagne seul 20% des eaux distribuées proviennent de ressources souterraines (contre 60% à l'échelle nationale). Produisant 60 millions de m³ par an, 65% de ces ouvrages captent le réservoir altéré des roches (ne dépassent pas 20m de profondeur) et présentent des débits inférieurs à 10m³/h. En effet les roches de socle (et en premier lieu le schiste et le granite) sont des roches massives dont l'exploration en profondeur a nécessité des outils adaptés et où, surtout, la ressource en eau est infodée à la présence de fractures (inter)connectées.

A l'échelle régionale, des débits importants, supérieurs à 40m³/h au soufflage sont observés. On remarque que ces débits importants sont liés à la présence de structures géologiques particulières que sont les zones de failles (figure1). Héritage de l'histoire tectonique du Massif Armoricain, elles favorisent une transmissivité élevée (> 10-3m²/s) que l'on peut lier à la productivité du réservoir. Contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, les travaux récents menés sur ces aquifères ont montré que la profondeur n'est pas le paramètre majoritaire gouvernant la productivité mais que la géométrie (le pendage en particulier) de la zone de faille était un élément clé : les failles sub-verticales présentent ainsi des productivités beaucoup plus faibles que les failles à pente faible (thèse de Clément Roques en partenariat avec le BRGM).

Mais le « maître-mot » dans ces aquifères est la connectivité. En effet la zone de faille a souvent un rôle plutôt transmissif que capacitif : elle doit être connectée à un réservoir qui lui permet de soutenir son exploitation. La soutenabilité et la qualité chimique de ce réservoir contributif va être déterminant dans la durabilité de l'exploitation et sa protection. Ainsi des réservoirs comme les bassins tertiaires ou les formations altérées (figure 2) ont des propriétés capacitatives importantes, mais, de faible profondeur, ils sont sensibles aux activités de surface et potentiellement de qualité médiocre. Les zones de failles peuvent également connecter des réservoirs profonds protégés de pollutions accidentelles mais parfois un peu trop minéralisés pour l'exploitation en eau potable. La connaissance de la géométrie est donc une donnée essentielle pour la gestion de la ressource dans ces aquifères. Des outils sont donc développés par les laboratoires de recherche pour « imager » ces zones de failles, leur connectivité et leur production (voir encadré). Un suivi lors des premières années d'exploitation permet de s'assurer de la pérennité de la ressource tant au niveau quantitatif que qualitatif.

LES RESSOURCES EN EAU EN BRETAGNE : LES SPÉCIFICITÉS DES AQUIFÈRES DE SOCLE

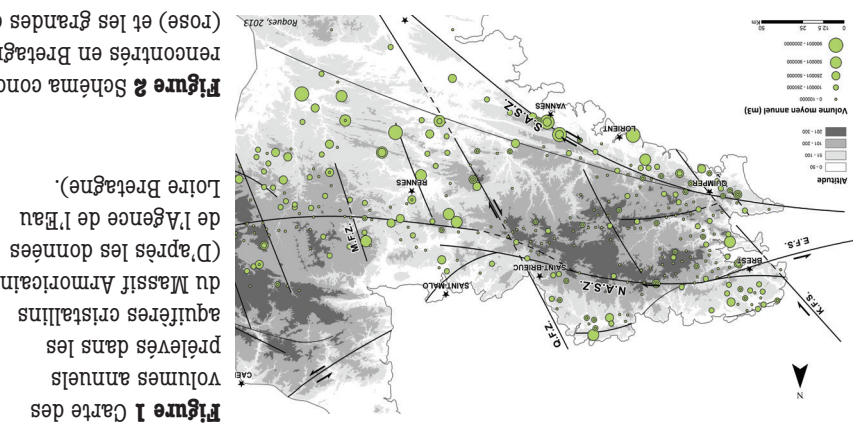
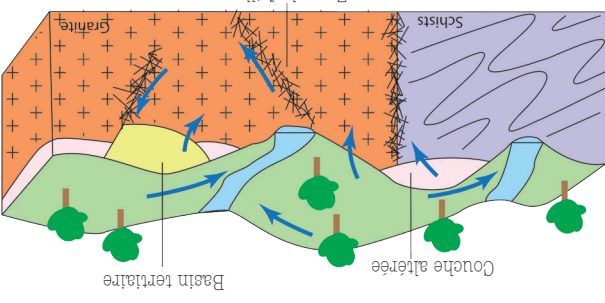


Figure 2 Schéma conceptuel structural présentant les différents aquifères rencontrés en Bretagne. Les bassins tertiaires (jaune), les formations altérées (rose) et les grandes discontinuités tectoniques (noir). D'après Braut et al. (2002).



OLIVIER BOUR olivier.bour@univ-rennes1.fr
TANGUY LE BORGNE tanguy.le-borgne@univ-rennes1.fr
LUC AQUILINA luc.aquilina@univ-rennes1.fr

Financé par le projet INTERREG CLIMAWAT Interreg et ORLE H+

Caractérisation des écoulements en forage par fibre optique

A partir du suivi de la température, les fractures connectées peuvent être localisées

La mesure distribuée de la température par fibre optique est une technique très récente qui s'est fortement développée pour des applications environnementales ces dernières années. Pour mieux caractériser la géométrie du réseau de fractures des tests de traçage thermique sont réalisés : après injection d'eau chaude dans un ouvrage (image) il est possible de visualiser au cours du temps l'arrivée (ou non) de ce « traçeur » sur toute la profondeur de l'ouvrage et d'identifier ainsi les fractures connectées.

Figure 3 Suivi temporel de la température sur toute la profondeur du forage pompé. Seules les deux fractures les plus profondes sont connectées.

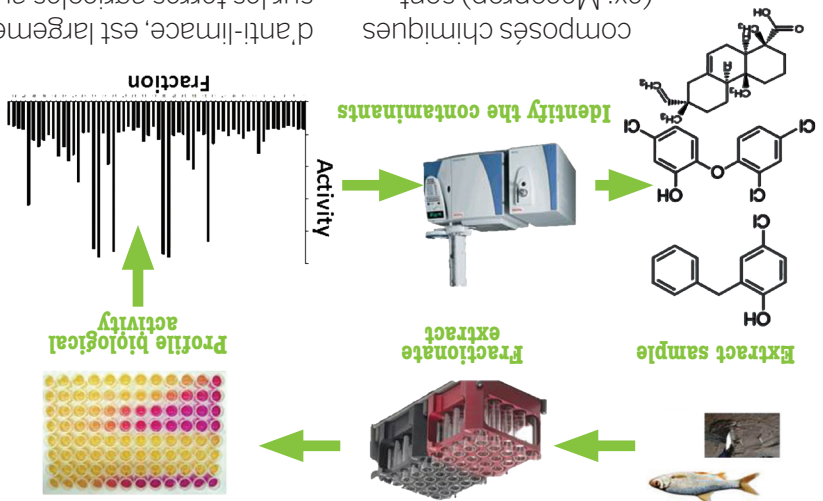
Toutefois, l'évaluation des risques environnementaux des substances chimiques est actuellement basée sur l'exposition à des contaminants seuls et ne prend pas en compte les mélanges de substances s'accumulant dans les organismes qui peuvent augmenter (par action additive ou synergétique) ou diminuer (par action antagoniste), la toxicité globale. Il serait donc essentiel de connaître la composition de ces mélanges de contaminants afin de réaliser les études d'évaluation du risque nécessaires pour obtenir des législations efficaces.

d'anti-limace, est largement appliqué sur les terres agricoles au Royaume-Uni et entre généralement dans les rivières par le ruissellement après les épisodes pluvieux. Ce composé est ensuite difficile à éliminer dans les eaux prélevées dans l'environnement (pour les ressources en eau potable) en utilisant des méthodes de traitement conventionnelles. De nombreux composés identifiés dans ces études sont soit présents sur la liste des substances prioritaires de la DCE, soit sur la liste des substances à surveiller pour d'éventuelles futures législations.

composés chimiques (ex: Mecoprop) sont largement utilisés dans cette région pour le contrôle des mauvaises herbes et certaines cultures de céréales. L'utilisation de cette approche innovante pour surveiller les apports de certains composés dans les rivières permet de mieux tracer ces polluants et d'entreprendre des actions de remédiations ciblées. Certaines études commencent également à utiliser cette technologie pour surveiller les apports de molluscicides, métaldéhyde. Ce composé chimique, sous forme

Le risque causé par la pollution chimique est-il sous-estimé?
Les études suggèrent que plus de 84 000 composés chimiques sont communément utilisés à l'échelle globale. Bien que ceux-ci soient de potentiels contaminants environnementaux, nous ne possédons des données d'exposition que pour environ 1000 d'entre eux.

Figure 3 Une approche combinant bioessais et analyses chimiques est utilisée pour identifier de nouveaux contaminants présents dans les extraits d'échantillons passifs, de sédiments et différents organismes biologiques.



UTILISATION DE SYSTÈMES D'ÉCHANTILLONNAGE PASSIF POUR SURVEILLER LA QUALITÉ DE L'EAU

Les échantillonneurs passifs peuvent être utilisés en complément ou comme une alternative aux méthodes conventionnelles d'échantillonnage d'eaux. Les échantillonneurs passifs pour l'eau ont été développés au cours des 20 dernières années. De nombreux systèmes sont disponibles pour mesurer les principaux polluants majeurs (les métaux et les contaminants organiques polaires/apolaires). Les échantillonneurs peuvent être déployés dans la colonne d'eau pour des périodes prolongées (jours ou mois) et une fois calibrés, peuvent fournir à la fois des concentrations moyennes pondérées et des concentrations à l'équilibre. Leur utilisation dans les programmes de surveillance suscite actuellement un large intérêt en Europe.

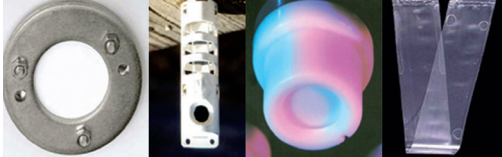
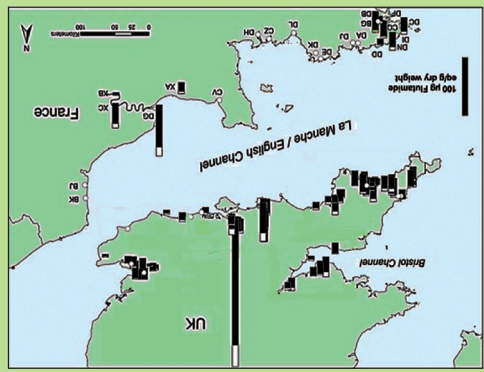


Figure 4 Systèmes d'échantillonnage passifs G-D, Dispositif de membranes semi-perméables, Diffusive Gradients in Thin Films device pour métaux, Ecoscope pour métaux et polluants organiques non-polaires, Polar Organic Chemical Integrative Sampler pour les polluants organiques polaires.

Les sédiments côtiers de la région de la Manche sont contaminés par des composés anti-androgéniques

Les extraits de sédiments ont été analysés en testant l'activité antagoniste du récepteur de l'androgène et les résultats sont exprimés en fonction de l'anti-androgène de référence: flutamide. De fortes concentrations en anti-androgènes ont été mesurées à Southampton, Le Havre et le port de Poole. Nous avons montré que cette pollution était due au HAPs, et révèle que ces contaminants peuvent avoir un effet génotoxique et un effet sur la reproduction des organismes aquatiques. Ce travail a d'importantes implications pour comprendre le rôle et l'effet des sédiments marins sur la reproduction des organismes aquatiques.

Figure 5 Zone d'étude; Les barres graphiques noires représentent l'activité anti-androgénique et les aires blanches la variabilité des duplicas. Aucune activité anti-androgénique ($< 0.2 \mu\text{g}$ équivalents flutamide / g sédiments) n'a été détectée pour les sites sans barre graphique.



PROFESSOR ELIZABETH M HILL
University of Sussex
PROFESSOR GRAHAM MILLS
University of Portsmouth
DR DIANA ALVAREZ MUNOZ
University of Sussex
DR ARTHUR DAVID
University of Sussex

OUTILS UTILISÉS POUR SURVEILLER ET IDENTIFIER LES MÉLANGES COMPLEXES DE CONTAMINANTS ENVIRONNEMENTAUX DANS LES ENVIRONNEMENTS AQUATIQUES

Les collaborations entre les universités du Sussex, du Havre, d'Exeter et de Portsmouth ont été essentielles pour permettre l'identification des mélanges complexes de contaminants chimiques qui polluent l'environnement aquatique et interfèrent avec la santé et le bon fonctionnement des écosystèmes

es composés perturbateurs endocriniens : Certains contaminants ont le potentiel

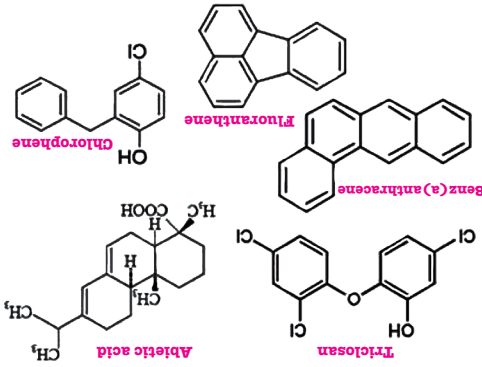
de perturber la reproduction des organismes aquatiques et sont appelés « perturbateurs endocriniens » (PEs). Ces PEs peuvent perturber l'activité des hormones sexuelles des espèces présentes dans l'environnement en imitant l'action des œstrogènes ou en bloquant l'action des androgènes (i.e., les anti-androgènes), ce qui a pour conséquence de féminiser les organismes exposés. Certains de ces composés sont des résidus de produits pharmaceutiques tels que la pilule contraceptive ou des produits d'entretien qui sont incomplètement éliminés par les stations d'épuration (STEP). On soupçonne que les forts taux de poissons féminisés observés dans certaines rivières européennes et les phénomènes d'intersexualité observés chez les invertébrés aquatiques sont principalement dus à l'exposition de ces organismes aux PEs. Nous avons utilisé des techniques d'échantillonnage innovantes (échantillonnage passif), combinées avec de nouvelles approches analytiques pour identifier de nouveaux composés polluants présents dans les différentes régions de la Manche (Figure 1). L'utilisation de systèmes d'échantillonnage passif assurant le prélèvement d'une



Figure 1 Échantillonneurs passifs Chemcatcher® sécurisés dans un dispositif de déploiement

(Royaume-Uni). collectée après un essai in situ dans la rivière Exe

Figure 2 Mélange de composés anti-androgéniques détectés dans l'environnement aquatique. Les anti-androgènes peuvent agir comme agents démasculinisant et peuvent exagérer l'effet des œstrogènes qui ont le potentiel de perturber la reproduction des poissons et des invertébrés.



large gamme de contaminants a permis de détecter de nouveaux mélanges de PEs biodisponibles dans les rivières contaminées par les rejets de STEP. Ces contaminants incluent les antibactériens utilisés dans les produits d'entretien/sanitaires tels que le triclosan présent dans certains dentifrices ou les solutions pour bain de bouche et le chlorophène qui est utilisé comme désinfectant (voir Figure 2). Nos recherches ont montré

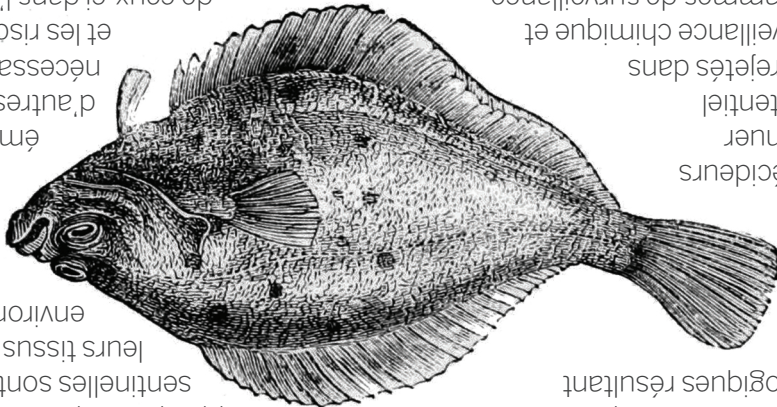
que ces composés chimiques agissent comme anti-androgènes qui ont le potentiel d'exacerber la féminisation des poissons causées par l'exposition aux œstrogènes environnementaux (pilule comme l'éthinyl estradiol) pour d'importantes implications pour la directive européenne cadre sur l'eau (DCE), qui met en place des législations concernant la présence des œstrogènes environnementaux dans les eaux de surface. Toutefois, ces législations se basent sur les risques d'exposition aux œstrogènes seuls plutôt que sur les mélanges avec d'autres anti-androgènes qui pourraient augmenter le potentiel de féminisation des poissons. Dans d'autres travaux, nous avons aussi

utilisé des techniques de profilage chimique et avons mis en évidence que les poissons exposés aux effluents de STEP sont exposés à de nombreux produits pharmaceutiques incluant 5 anti-inflammatoires non stéroïdiens et 7 inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine. Ces mélanges de contaminants ont le potentiel de perturber la fonction immunitaire et le comportement des poissons. Les sédiments peuvent contenir des contaminants environnementaux hydrophobes et peuvent être d'importantes sources de pollution dans l'environnement aquatique. Nous avons utilisé des outils couplant des bioessais et l'analyse chimique pour identifier les principaux anti-androgènes présents dans les sédiments côtiers (Figure 3). Ces contaminants ont été identifiés comme étant des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) qui sont présents à cause de l'activité maritime et des déversements de pétrole. Des expériences sont actuellement réalisées pour déterminer si ces PEs peuvent perturber le développement sexuel des invertébrés benthiques tels que les clams (*Scrobicularia* sp.), chez qui un fort taux d'intersexualité a été reporté dans la région de la Manche. **Herbicides et molluscicides** D'autres travaux concernant l'utilisation des échantillonneurs passifs ont été entrepris par l'Université de Portsmouth (Royaume-Uni), en collaboration avec la South West Water entreprise et la Westcountry Rivers Trust, afin d'améliorer la surveillance des polluants dans l'eau. Ces différentes équipes utilisent les échantillonneurs passifs Chemcatcher® (développés à l'université), afin de créer une carte des concentrations en herbicides dans le bassin de la rivière Exe. Ces

SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

Des programmes de surveillance sont utilisés pour évaluer l'impact et les risques potentiels des produits chimiques sur l'environnement

Figure 1 Un flet, *Platichthys flesus*.



pertinents dans le processus d'évaluation des risques. La biosurveillance est fondée sur l'utilisation de réponses biologiques permettant d'évaluer les changements dans l'environnement. Les données de biosurveillance peuvent fournir une évaluation de la dose d'un produit chimique reçue par un individu, ainsi que des informations sur les conséquences sur les organismes exposés et les relations entre contaminations environnementales et apparitions de pathologies. Les programmes de biosurveillance sont utilisés pour identifier les principales expositions aux produits chimiques, estimer les tendances dans le temps de l'exposition, identifier les populations à risque, établir des fourchettes de référence pour effectuer des comparaisons, fournir des guides de dosages et évaluer les interventions et les efforts de prévention. Ces études requièrent généralement des mesures des contaminants ou des changements biologiques (par l'utilisation de biomarqueurs) chez les organismes indicateurs, les populations et/ou les communautés. Les espèces appropriées pour la biosurveillance ou espèces sentinelles sont capables d'accumuler dans leurs tissus les polluants présents dans leur environnement ou leur nourriture. Actuellement, les inquiétudes du public et des scientifiques sur la présence et la contamination par des polluants émergents sont croissantes ; d'autres études de suivi sont nécessaires pour évaluer les tendances et les risques associés à l'accumulation de ceux-ci dans l'environnement aquatique.

l'espérance de vie continue d'augmenter principalement en raison des progrès technologiques vus de la synthèse de différents produits chimiques tels que les engrais, les pesticides et les produits pharmaceutiques. L'utilisation inadaptée de certains de ces produits chimiques s'est cependant soldée par une dégradation significative de l'environnement. Même si des indices on très tôt indiqué que différents pesticides interféraient avec le système endocrinien de différents organismes, il a fallu attendre le milieu des années 60, avec la publication du livre de Rachel Carson « Silent Spring » qui démontrait les effets néfastes des pesticides dans l'environnement, avant que l'opinion public ne s'intéresse à ces questions. Depuis le milieu des années 1970, la surveillance environnementale s'est renforcée principalement en raison de la prise de conscience du problème posé par la pollution chimique de l'environnement et des risques associés pour la santé humaine. Aujourd'hui, le suivi et l'évaluation des risques environnementaux est un outil scientifique utile pour évaluer la probabilité et l'ampleur des effets biologiques résultant de l'exposition aux contaminants chimiques. Le but du suivi et de l'évaluation des risques est d'aider les décideurs politiques à mitiger, atténuer ou éliminer le danger potentiel des produits chimiques rejetés dans l'environnement. La surveillance chimique et la biosurveillance (programmes de surveillance biologique) sont considérées comme des outils

ELENA CUBERO-LEON University of Le Havre
JEAN-MICHEL DANGER University of Le Havre

J. E. Cubero-Leon, C. M. Gicman (2013). Mussels as a tool to Monitor Pollution. In: Mussels: Ecology, Life Habits and Control. Eds. Nowak, J., Kozłowski, M. Nova Science Publishers, pp. 77-100

Le flet est une espèce sentinelle pertinente dans la surveillance de qualité de l'eau. C'est un poisson plat qui vit sur les fonds

sablonneux et vaseux dans les estuaires et près de côtes dans toute l'Europe, de la Norvège jusqu'au Portugal. Le flet vit la plupart de l'année dans les estuaires, mais se rend en mer pour se reproduire.

Le programme "Mussel Watch" (Surveillance des moules) a été conçu pour évaluer l'état et les tendances de la contamination chimique des eaux côtières des États-Unis. Le programme, qui a commencé en 1986, est l'un des plus anciens programmes de surveillance côtière en continu.

Etude de suivi réalisée chez le flet intégrant une batterie de biomarqueurs afin d'évaluer la qualité des eaux marines et estuariennes

ETUDE DE SUIVI UTILISANT LE FLET

Afin de définir une série de paramètres biologiques pour le flet et d'enquêter sur leur capacité à fournir des informations cohérentes et utiles sur la santé des poissons vivant sur nos côtes, les dégâts à l'ADN, et les réponses moléculaires et biochimiques ont été mesurées au cours d'expériences d'exposition en laboratoire et dans des populations sauvages prélevées dans des estuaires avec différents niveaux de contamination. Cette étude a démontré que certains biomarqueurs biochimiques, en particulier ceux liés au métabolisme, pourraient donner des réponses floues et a illustré l'importance de l'utilisation d'une série de biomarqueurs. En outre, les marqueurs de type physiologique se sont avérés être plus prédictifs des effets nuisibles des contaminants chimiques.

COMPOSÉS CHIMIQUES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Les composés chimiques perturbateurs endocriniens influent sur le système reproducteur et peuvent être à l'origine d'un déséquilibre du sexe-ratio, d'un retard de la gamétogénèse, de l'imposex et de l'intersexualité

Il existe de preuves solides, obtenues suite à des études de terrain, qui montrent que, dans l'environnement, de nombreux organismes aquatiques peuvent être exposés à des concentrations biologiquement actives de produits chimiques qualifiés de perturbateurs endocriniens. Ces produits chimiques modifient les fonctions du système endocrinien nécessaire au développement, à la reproduction, à la croissance, à l'homéostasie, à la disponibilité normale d'énergie et au comportement des organismes multicellulaires. Les perturbateurs endocriniens représentent donc une menace pour la santé de la faune sauvage.

Des effets endocriniens indésirables sont apparus chez certaines espèces aquatiques et ont entraîné une diminution des populations. À titre d'exemple, un cas très étudié mais dont les mécanismes ne sont pas encore bien compris, est l'effet sur les mollusques marins du TBT, un composé organostannique utilisé comme agent antifouling sur les coques de navires. Ce composé est absorbé par les bivalves et les gastéropodes à travers les sédiments, l'eau ou l'alimentation, et peut entraîner un phénomène appelé « imposex » qui correspond à une anomalie sexuelle irréversible observée chez les femelles. L'imposex est le développement de caractères sexuels secondaires mâles chez les femelles et engendre stérilité, induisant ainsi le déclin des populations ou même leur disparition totale à proximité des sources de pollution. En conséquence, l'utilisation de peintures contenant du TBT a été interdite sur les bateaux de moins de 25m dès 1987 dans de nombreux pays et, depuis 2003, pour tous les navires. Les mollusques mâles des estuaires du Royaume-Uni présentent également une perturbation dans le développement de leurs gonades : jusqu'à 60% de certaines populations sont intersexuées (« ovotests »), mais les causes demeurent toujours inconnues.

Les produits chimiques œstrogéniques présents dans les effluents d'eaux usées domestiques sont liés à la production de vitellogénine (une protéine



Figure 1 Détail histologique d'une palourde intersexuée où des ovocytes et des spermatozoïdes matures peuvent être observés.

La déclaration de Berlaymont sur les perturbateurs endocriniens signée en 2013

En juin 2012, la Commission européenne a organisé une conférence regroupant des scientifiques internationaux, des représentants de groupes d'intérêt et des membres des États de l'Union européenne (UE) pour discuter des initiatives politiques futures concernant les perturbateurs endocriniens.

INTERSEXUALITÉ DANS LES POPULATIONS DE PALOURDES

ELENA CUBERO-LEON
University of Le Havre
JEAN-MICHEL DANGER
University of Le Havre

précursEUR du jaune d'œuf) et à la forte incidence d'anomalies testiculaires chez les poissons mâles. L'activité œstrogénique de ces échantillons s'explique par la présence de polyéthoxylates, d'alkylphénols, d'hormones naturelles (17β-œstadiol et l'œstrone), d'origine pharmaceutique (l'éthinyloestradiol), ou de composés organochlorés lipophiles et de phthalates. Chez les mammifères, une étude bien documentée décrit des décès en masse de phoques communs, causé par une infection morbillivirale et de l'immunosuppression induite par des perturbateurs endocriniens comme les biphényles polychlorés. D'autre part, le déclin des populations résultant des troubles de la reproduction chez les phoques gris a également été lié à la présence de composés organochlorés dans la chaîne alimentaire. Des études ont mis en évidence de graves dommages irréversibles sur l'homme et la faune causés par les perturbateurs endocriniens. La réglementation sur les produits chimiques dans l'UE oblige les industries chimiques et pharmaceutiques à évaluer les risques environnementaux de leurs produits ; mais l'évaluation repose sur des tests de toxicité aiguë qui ne peuvent mettre en évidence les effets des perturbateurs endocriniens. De plus, la forte pression sur les ressources en eau croît et, par exemple, selon les prévisions du programme de croissance au Royaume-Uni, 50.000 maisons supplémentaires seront construites dans les 20 prochaines années dans la région. Par conséquent, si des incertitudes dans l'évaluation des risques demeurent, il faut d'urgence mettre en place des mesures réglementaires plus en lien avec des meilleurs résultats scientifiques.

L'intersexualité est un phénomène répandu dans les populations de bivalves de la côte sud-ouest du Royaume-Uni

La technique d'hybridation et de PCR sousstractives a été appliquée afin de mieux comprendre les mécanismes de perturbation du système reproducteur chez le clam. Ce bivalve est sujet à la formation anormale d'ovocytes au niveau du testicule, caractéristique d'individus intersexués. Plusieurs transcrits intéressants ont été identifiés comme étant régulés négativement. Ils codent pour des protéines de signalisation cellulaire (RACK1), du cycle cellulaire (PCNA, histone H3), de la biosynthèse des protéines (protéines ribosomales), du cytosquelette (tekine), de la physiologie du sperme (tekine, SPL1) et du métabolisme énergétique (CYB, COX1). Dans la mesure où beaucoup de ces transcrits apparaissent comme "males", ces résultats suggèrent que les changements physiologiques profonds résultent d'une démasculinisation des individus mâles.

résumé ce procédé : Projet des Rivières de Cornouailles, EAU, Pensée en amont (Upstream Thinking). Le développement de ce genre de projets à l'échelle du bassin versant est actuellement cordonné à plus grande échelle grâce à l'Approche de Bassin Versant « Catchment-Based Approach » (Caba). Le développement de partenariats entre tous les bassins versants d'Angleterre représente un potentiel énorme pour améliorer

notre compréhension partagée des ressources provenant de nos rivières. Pour cela nous avons besoin d'une meilleure connaissance de notre environnement. La recherche universitaire, les outils, les cartes indispensables pour développer ce processus. Le projet « Caba » est l'occasion de modifier une gestion historiquement individualiste et étroite et la remplacer par une exploitation plus complète et partagée.

Toutefois, changer nos habitudes n'est pas facile et nous devons réfléchir aux impacts de nos actions sur d'autres personnes et de nous mettre à leur place. Ainsi nous appliquerons les directives européennes auxquelles nous adhérons en tant que communauté. Nous préconisons donc un environnement équilibré où nous pourrions nous gérer nous-mêmes, alimenter nos maisons, boire une eau propre et potable et avoir un lieu sûr et agréable pour travailler, jouer et vivre.

Projet Rivières de Cornouailles

Permettre la compétitivité des exploitations en améliorant l'efficacité des ressources

Entre 2002 et 2006, le WRT a réalisé le projet Rivières Cornouailles, une initiative de 2,6 millions de livres, financée par le Département de l'environnement, de l'alimentaire et des affaires rurales et le programme Objectif 1. Son but principal était la réhabilitation des rivières clés et de leurs bassins versants en Cornouailles, tout en améliorant de la viabilité économique des collectivités rurales locales. Au cours de ce projet, le personnel de WRT a visité plus de 870 exploitations en Cornouailles, et chacune d'entre elles a reçu des conseils confidentiels, individuels et gratuits grâce au « Integrated River Basin Resource Management Plan » qui identifie les opportunités pour améliorer les pratiques agricoles, pour renforcer la protection de l'environnement et pour faire des économies. Ils couvrent une surface totale de 560 km et plus de 1,380 km de cours d'eau ont été étudiés. Une étude économique indépendante du projet a révélé que la majorité des participants ont effectué d'importants économies en prenant en compte nos conseils. La moyenne annuelle d'économies par ferme a été de plus de £1,369 en 2006. Si tous les 870 agriculteurs ont réalisé ces économies, le coût total du projet est amorti en 2 ans.

« Pensée en Amont » (Upstream Thinking) Apporter des améliorations à l'eau potable avant qu'elle soit traitée

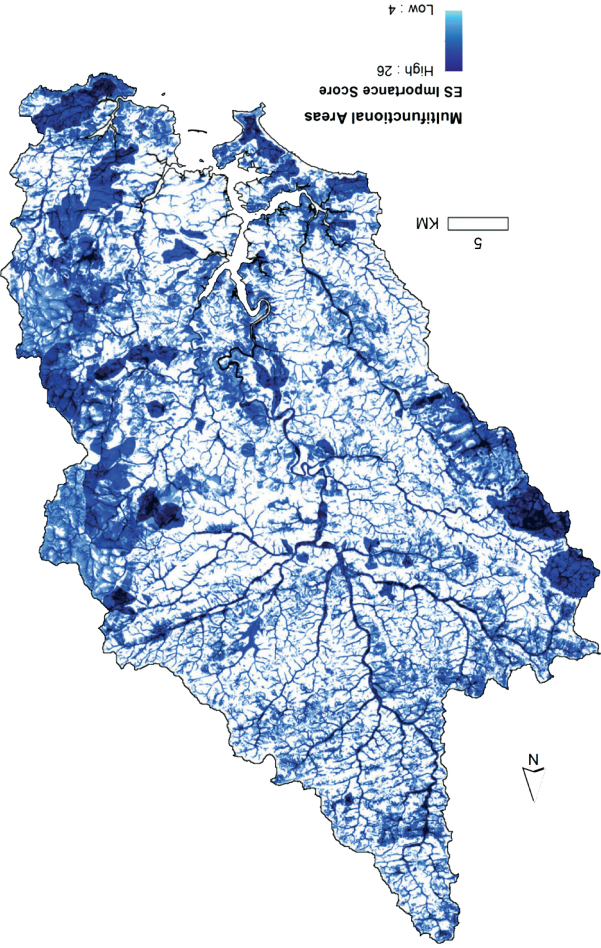


Figure 2 La superposition de cartes écosystémiques met en évidence les divers avantages de certaines zones.

DR LAURENCE COULDRICK
Head of Catchment Management,
Westcountry Rivers Trust

EAU Zones humides, l'évaluation technique et économique de la restauration

En 2009, WRT lance le projet EAU en partenariat avec le programme France (La Manche) Anglétère « Interreg IVA », financé à la hauteur de 3,8 million d'euros. Le projet visait à évaluer le paysage et comprendre comment l'eau traversait les bassins versants et ainsi localiser les endroits où elle était retenue. Ces zones humides pouvaient alors être mieux gérées et restaurées et ainsi démontrer les économies réalisées par

leurs restaurations. Tandis que ce projet était principalement impliqué dans la recherche et le développement, il a permis la protection de plus de 35 km de zones humides et apporté des conseils sur la gestion de plus de 9600 hectares. Grâce à ce travail WRT a été un précurseur et est devenu l'un des principaux acteurs au Royaume-Uni agissant comme intermédiaire dans la demande de subventions via les « Paiements pour les services des écosystèmes », WRT est capable de développer et d'utiliser la cartographie éco-système comme un moyen d'identifier et de travailler avec des bénéficiaires d'autres bassins versants.

Nos terres jouent un rôle vital dans le stockage, le transport et la purification de l'eau. La manière dont nos gérons le sol influence la façon dont l'eau de pluie est absorbée par le sol. Par exemple, si les sols sont compactés, cela diminue le potentiel d'infiltration vers les nappes phréatiques et favorise le ruissellement. De ce fait, les polluants, transportés par l'eau, peuvent voyager plus loin. En somme, la gestion des terres modifie la qualité et la quantité de l'eau qui arrive jusqu'à nos rivières et nos mers. Historiquement, le paysage était constitué d'un patchwork de champs, de haies, de zones humides et de zones boisées qui agissaient tous dans le ralentissement du mouvement de l'eau. Cette diversité diminuait le risque d'inondation et réduisait les chances que les polluants rejoignent les rivières. De plus, un sol contenant de l'eau permet de réduire l'éventualité de sécheresse.

« Cependant, après la Seconde Guerre Mondiale, en cherchant à augmenter la production alimentaire, le paysage fut modifié : les terrains agricoles ont été agrandis, les haies, zones humides et forêts disparurent.

De plus, combiné à cela, les avancées technologiques dans le domaine de l'agriculture, tels que l'utilisation d'engrais azotés, ont conduit à une augmentation nécessaire de la production alimentaire mais aussi à la perte de la capacité de nos terres à se régénérer et à maintenir la capacité en eau.

Depuis 20 ans, le Westcountry Rivers Trust (WRT) a cherché à remédier à ces problèmes en travaillant avec les agriculteurs et propriétaires terriens afin de mieux comprendre les conséquences positives et négatives de l'agriculture intensive. Le but n'est pas de revenir à une époque révolue mais d'optimiser l'utilisation des terres. Notre population augmente sans cesse mais la superficie de terres reste inchangée. Nous devons donc obtenir plus de nos bassins versants.

Pour cela, WRT a développé un outil de cartographie participatif qui permet aux acteurs impliqués de se rencontrer afin de décider de l'avenir souhaité pour leurs bassins versants et d'envisager un gestion durable afin d'évaluer et d'utiliser les précieuses ressources locales.

En cartographiant différents

éléments dans les bassins versants et en superposant ces cartes, les surfaces ayant des intérêts diversifiés sont mises en lumière. Elles permettent à différents groupes de se réunir pour avoir une vision commune.

(Voir figure 1 : une vision pour les terres agricoles closes et figure 2 : espaces multifonctionnels).

C'est grâce à cette vision commune que WRT a pu développer des projets à l'échelle des bassins versants qui offrent de multiples bénéfices à la société.

Un travail commun avec des universitaires, des acteurs en gestion et des communautés permet de comprendre les conséquences des pratiques de gestion locale sur les limites spatiales et temporelles de l'écosystème. WRT a été capable d'améliorer la capacité d'absorption de nos rivières et des bassins versants. L'élément clé est l'initiation à une gestion appropriée qui propose un conseil personnalisé, chiffré, pertinent pour chaque agriculteur. Ils peuvent ainsi modifier leur façon de gérer leur exploitation tout en minimisant tout risque financier.

Trois des anciens projets de WRT

LA CARTOGRAPHIE MET EN ÉVIDENCE LES CAPACITÉS DE RÉGÉNÉRATION ET DE PROTECTION NATURELLE D'UN BASSIN VERSANT

Travailler avec différents acteurs pour créer une carte de l'écosystème qui permet de développer une vision globale du bassin versant



Figure 1 Une vision pour les terres agricoles closes. Cette image compare une mauvaise ferme (à gauche de la rivière) et une bonne ferme (à droite de la rivière).

si envoyer des bénévoles en mission sous-marine n'est pas évident, me programme Seasearch s'y attèle ! Seasearch est un programme national qui coordonne, avec des plongeurs sportifs bénévoles, l'enregistrement de leurs observations sous-marines pour aider à la protection du milieu marin. Ce programme de science participative bien établi se prête facilement à la surveillance des espèces envahissantes. Avec une méthode bien calibrée déjà en place, des ateliers d'identification des espèces envahissantes spécialisés ont été organisés ainsi que la création d'un guide d'identification étanche qui fournit aux plongeurs les informations nécessaires pour repérer et identifier les espèces envahissantes, à la fois lors de plongées de routine du programme Seasearch mais également au cours de plongées ayant pour objectif spécifique de chercher des espèces envahissantes. Le partenariat s'est avéré être Seasearch et les bénévoles s'est avérée être très efficace car il a donné aux bénévoles motivés la possibilité de plonger dans des endroits inhabituels et restreints, avec l'opportunité de voir des nouvelles espèces. Les photos prises par les plongeurs deviennent des données fiables.

Rassembler des équipes de bénévoles issus de différents projets, autour d'un objectif commun, montre le potentiel considérable pour créer un vaste réseau de personnes prêtes à s'investir dans une surveillance des espèces envahissantes, ceci en s'appuyant sur les compétences du grand public, de naturalistes amateurs et de tous ceux qui sont bien placés pour recueillir des données par le biais de leurs activités de loisirs. Avec un soin particulier apporté à la préparations du projet et une sélection attentive des espèces à suivre, les citoyens scientifiques peuvent alors aider à recueillir des données fiables et robustes sur une zone géographique étendue.

Cette approche de science participative pour réaliser de la surveillance a été partagée à travers la Manche grâce à une coopération de plusieurs organisations impliquées dans le programme Interreg IV, initiative qui a permis d'allouer des fonds à des projets de sensibilisation (développement de matériel d'identification et d'un site internet dédié à l'enregistrement).

RÉDUIRE LES OBSTACLES POUR L'ENREGISTREMENT : Un choix attentif et judicieux sur un lot d'espèces facilement identifiables peut être crucial pour pouvoir obtenir des données fiables

La sélection d'espèces envahissantes facilement identifiables augmente les chances d'obtenir une identification correcte et précise. Ce choix permet également de mettre en confiance les participants en consolidant leur connaissances dans cet exercice de reconnaissance des espèces. Attirer l'attention des participants à la fois sur des espèces qui sont susceptibles d'être retrouvées et sur d'autres espèces susceptibles d'être prochainement introduites permet de stimuler et de maintenir l'enthousiasme et l'engagement des participants à cette opération de surveillance.

Par Catherine Wildling.

Figure 7 Le suivi, appelé Seasearch, des espèces envahissantes est réalisé par des plongeurs. rendent cette algue facile à identifier par rapport à d'autres espèces. Par Lisa Rennocks.

des bordures en forme de doigts et des organes reproducteurs ondulés et plissés, qui (*Undaria pinnatifida*), algue envahissante, présente une nervure centrale bien distincte, scientifique Par Matt Slater. **Figure 6** Le Wakamé

Figure 5 L'aspidie Coriace (*Styela clava*) se distingue facilement des espèces indigènes, ce qui en fait un excellent candidat pour être relevée les citoyens



En estimant les coûts La Commission européenne estime que les coûts liés aux espèces envahissantes et à la réparation des dommages causés par celles-ci pourraient avoisiner les 12 milliards d'euros par an, soit autant d'économies à faire pour l'Union européenne.

public. Ces panneaux sont déployés pour une période déterminée durant laquelle les participants sont invités à observer l'arrivée d'organismes sur les panneaux en effectuant un suivi photographique et en soumettant ces photos sur un site internet. Ces photos sont ensuite examinées par des experts pour identifier toutes les espèces envahissantes présentes sur les panneaux.

Le projet a pour but de fournir des données biologiques sûres sur la présence de certains taxons envahissants dans une vaste zone géographique tout en sensibilisant les plaisanciers sur l'apparition de ces espèces. Cette démarche repose sur le fait que la participation à un tel projet peut encourager un changement du comportement d'usagers du milieu marin et de contribuer au final à réduire ou ralentir la propagation d'espèces envahissantes.

Afin de surveiller l'arrivée d'espèces envahissantes dans les ports de plaisance, des projets de science participative déjà en place ont été adaptés pour intégrer le suivi d'espèces envahissantes dans le cadre de la surveillance des habitats naturels. Les partenaires du projet PANACHE ont mis au point une méthode conviviale pour de permettre aux citoyens scientifiques, quel que soit leur niveau, de réaliser des suivis dans l'estran, surveiller le littoral et identifier des risques potentielles. Cette méthode, appelée "shoresearch", suit quatre protocoles pour, d'une part, enregistrer des espèces clés (incluant des espèces envahissantes, des espèces indicatrices du changement climatique, et des espèces rares) et, d'autre part, pour fournir des informations utiles au processus de désignation d'aires marines protégées.

Ces quatre protocoles sont : une recherche ciblée et chronométrée d'espèces clés, avec des données de présence / absence et une échelle de comparaison des abondances entre espèces ; un suivi général pour relever tous les taxons, leur abondance relative et leur localisation dans l'estran par rapport à la zonation marine (les observations d'une importance particulière sont soigneusement photographiées avec l'enregistrement de leur position GPS) ; un suivi répétable par section où des mesures de la

zonation marine sont enregistrées, permettant ainsi des comparaisons dans le temps ; et enfin un suivi par secteur incluant l'utilisation de cadrons pour enregistrer les espèces et le pourcentage de recouvrement dans chaque zone. Un site peut être étudié en utilisant un, plusieurs, ou tous ces protocoles complémentaires, en fonction du temps et de l'expertise disponibles. Ce niveau d'implication des bénévoles vise à assurer un sentiment commun d'appartenance et de responsabilité partagée envers l'environnement marin, tout en mettant l'accent sur la sensibilisation du public aux pressions potentielles encourues dans les aires marines protégées.

Le résumé de ces activités ne peut se passer de la mention du suivi dans les zones infralittorales : même



Figure 2 Les propriétaires de bateaux, ici en tant que citoyens scientifiques, retirent des panneaux de l'eau pour les photographier. Leur objectif : suivre le recouvrement de ces panneaux par des espèces envahissantes. Par Lisa Rennocks.

Figure 3 Des photos de chacune des deux faces du panneau, envoyées par les citoyens scientifiques, pour vérifier la présence d'espèces envahissantes. Les tuniciers *Asterocarpa humilis* et *Corella eumyota* ainsi que le bryozoaire *Bugula neritina*, sont toutes trois des espèces envahissantes et sont bien visibles sur ce côté du panneau. Par Lisa Rennocks.

AMÉLIORATION DE LA SENSIBILISATION

Si un aspect essentiel de votre projet repose sur de la sensibilisation, faites appel à la science participative

Sensibiliser un public cible grâce à la participation à un projet peut conduire à une prise de conscience et des changements de comportement tels que le grand public soit plus conscient de problèmes et puisse potentiellement commencer à influencer ceux autour de lui. Une communication efficace reste essentielle. Dans le monde d'aujourd'hui, tourner vers les réseaux sociaux et les ressources en ligne, il n'a jamais été plus facile de toucher le grand public. Adopter une approche diversifiée pour impliquer le public contribuera à motiver et à fidéliser les bénévoles. Le contact de vis à travers des ateliers et des stages de formation sont un moyen précieux pour consolider des actions, de sensibilisation, en plus de lettres d'actualités, des fiches d'information, des posters et des ressources d'identification.



Figure 4 Du laboratoire au terrain, les bénévoles visitent un port de plaisance pour mettre à l'épreuve leurs compétences sur l'identification d'espèces marines envahissantes lors d'un atelier d'identification d'espèces, par Lisa Rennocks.



LA SCIENCE PARTICIPATIVE : CRÉATION D'UN RÉSEAU DE CITOYENS POUR DÉTECTER LES ESPÈCES MARINES ENVAHISSANTES

L'introduction d'espèces envahissantes peut engendrer de la compétition avec les espèces natives pour les ressources, l'occupation de l'espace, ou l'accès à la lumière, et peut aussi modifier l'organisation de l'écosystème, avec une perte importante au niveau de la biodiversité

a capacité d'espèces envahissantes à exercer une pression biologique sur l'environnement ainsi que la prise de conscience croissante des conséquences économiques causées par ces dernières sont de plus en plus reconnues. Les politiques publiques en tiennent compte dans les législations récentes et incitent ainsi à l'amélioration des moyens de détection et de surveillance des espèces envahissantes afin de réduire leur propagation. Il s'agit en particulier de la directive-cadre "Stratégie pour le milieu marin" (DCSMM) et la directive-cadre sur l'eau (DCE) qui souligne l'impact potentiellement négatif des espèces envahissantes sur l'écologie des eaux européennes. L'introduction d'espèces envahissantes par le biais d'activités

humaines et de manière intentionnelle ou non, alerte sur le besoin d'augmenter la prise de conscience parmi les industriels et les usagers du milieu marin. Le plus tôt une espèce est détectée durant son introduction, plus les dispositifs et investissements nécessaires pour minimiser sa propagation seront faibles. De ce fait, une meilleure compréhension des mécanismes et des vecteurs d'introduction pourrait faciliter une détection plus précoce et la réduction de la propagation. Ce besoin croissant de vigilance et de sensibilisation a conduit à l'élaboration d'un programme de science participative innovant, le projet Science Marine, pour aider la récolte des données sur l'introduction d'espèces envahissantes.

En développant et en adaptant

des techniques de suivi, le Cornwall Wildlife Trust a mis en place un réseau de citoyens scientifiques capables de recueillir des données sur les espèces envahissantes dans des habitats artificiels, dans l'estran et la zone infratidale. Les ports de plaisance constituent un habitat artificiel approprié et sont souvent les premiers points d'arrivée et d'ancrage pour certaines espèces envahissantes auto-stoppeuses. Ainsi, les plaisanciers sont idéalement placés pour détecter ces nouvelles arrivées d'espèces. La participation de ce public cible pour déployer des panneaux submersibles et récupérer les a été un grand succès dans le comté de Cornwall, au sud-ouest de l'Angleterre. Il s'agissait par ailleurs d'une belle occasion pour sensibiliser le

Figure 1 Dans le cadre du programme Sea search, des bénévoles effectuent des suivis dans l'estran, en réalisant un transect et en utilisant des quadrats, afin de rechercher des espèces envahissantes et de renseigner des Indicateurs du changement climatique.

Par Matt Slater.

BIENVENUE... au Channel Catchments Cluster

Ce projet vise à capitaliser sur les résultats de projets récemment financés par le programme INTERREG IVA France – Manche – Angleterre.

La superficie occupée par les bassins versants de rivières se jetant dans la Manche recouvre 137,000km² et est habitée par plus de 19M personnes. Tout au long de l'histoire, ces bassins versants, rivières et estuaires ont été des centres d'habitation et des zones de commerce et d'industrie s'y sont développées, et reliant l'arrière-pays par de bons moyens de transport. Ces bassins versants sont aussi des sources d'eau potable et soutiennent l'agriculture, la pêche et de l'aquaculture. En outre, de nombreuses parties de la région sont aussi importantes pour des raisons économiques : une industrie de tourisme et loisirs s'y est développée. Pour ces raisons, il est vital de gérer de manière cohérente les nombreuses activités humaines qui se côtoient dans les bassins versants, rivières, estuaires et zones littorales afin d'assurer ou de restaurer la bonne santé de ces environnements. Ce document met en valeur différents travaux récents, financés par le programme INTERREG IV, qui proposent des outils et méthodes pour protéger les atouts naturels et économiques de cette région.



Nick Pope
Chef de projet 3C, Marine Biological Association, Plymouth, Royaume-Uni

TABLE DES MATIÈRES

La science participative : création d'un réseau de citoyens pour détecter les espèces marines envahissantes.....	3
La cartographie met en évidence les capacités de régénération et de protection naturelle d'un bassin versant.....	6
Composés chimiques perturbateurs endocriniens.....	8
Surveillance environnementale.....	9
Outils utilisés pour surveiller et identifier les mélanges complexes de contaminants environnementaux dans les environnements aquatiques.....	10
Les ressources en eau en Bretagne : les spécificités des aquifères de socle.....	12
La modélisation, un outil pour comprendre et décider.....	13
Les espèces non-indigènes des côtes de la Manche.....	14
Test des comètes : une méthode simple pour mesurer les dégâts causés à l'ADN.....	16
Les indicateurs de perturbation endocrinienne dans la Manche et sa région.....	18



CONTRIBUTEURS

Laurence Couldrick
Laurence@wrt.org.uk
Westcountry Rivers Trust

Lisa Rennocks
lisa.rennocks@cornwallwildlifetrust.org.uk
Cornwall Wildlife Trust

John Bishop
jbs@mba.ac.uk
Marine Biological Association

Frédérique Viard
Station Biologique de Roscoff

Nick Pope
ndpo@mba.ac.uk
Marine Biological Association

Oliver Bour
oliver.bour@univ-rennes1.fr
University of Rennes

Luc Aquilina
luc.aquilina@univ-rennes1.fr
University of Rennes

Tanguy Le Borge
tanguy.le-borge@univ-rennes1.fr
University of Rennes

Elizabeth Hill
e.m.hill@sussex.ac.uk
University of Sussex

Graham Mills
University of Portsmouth

Diana Alvarez Munoz
University of Sussex

Arthur David
University of Sussex

Elena Cubero-Leon
elenacuberoleon@gmail.com
University of Le Havre

Jean-Michel Danger
jean-michel.danger@univ-lehavre.fr
University of Le Havre

Awantha Dissanayake
awantha.dissanayake@plymouth.ac.uk
Plymouth University

Ce travail a été financé en partie par le Fonds européen de développement régional (FEDER) dans le cadre du programme INTERREG IV France (Manche) Angleterre.

REMERCIEMENTS

Ella Carter Sutton
ellacartersutton@gmail.com
Bath, Somerset

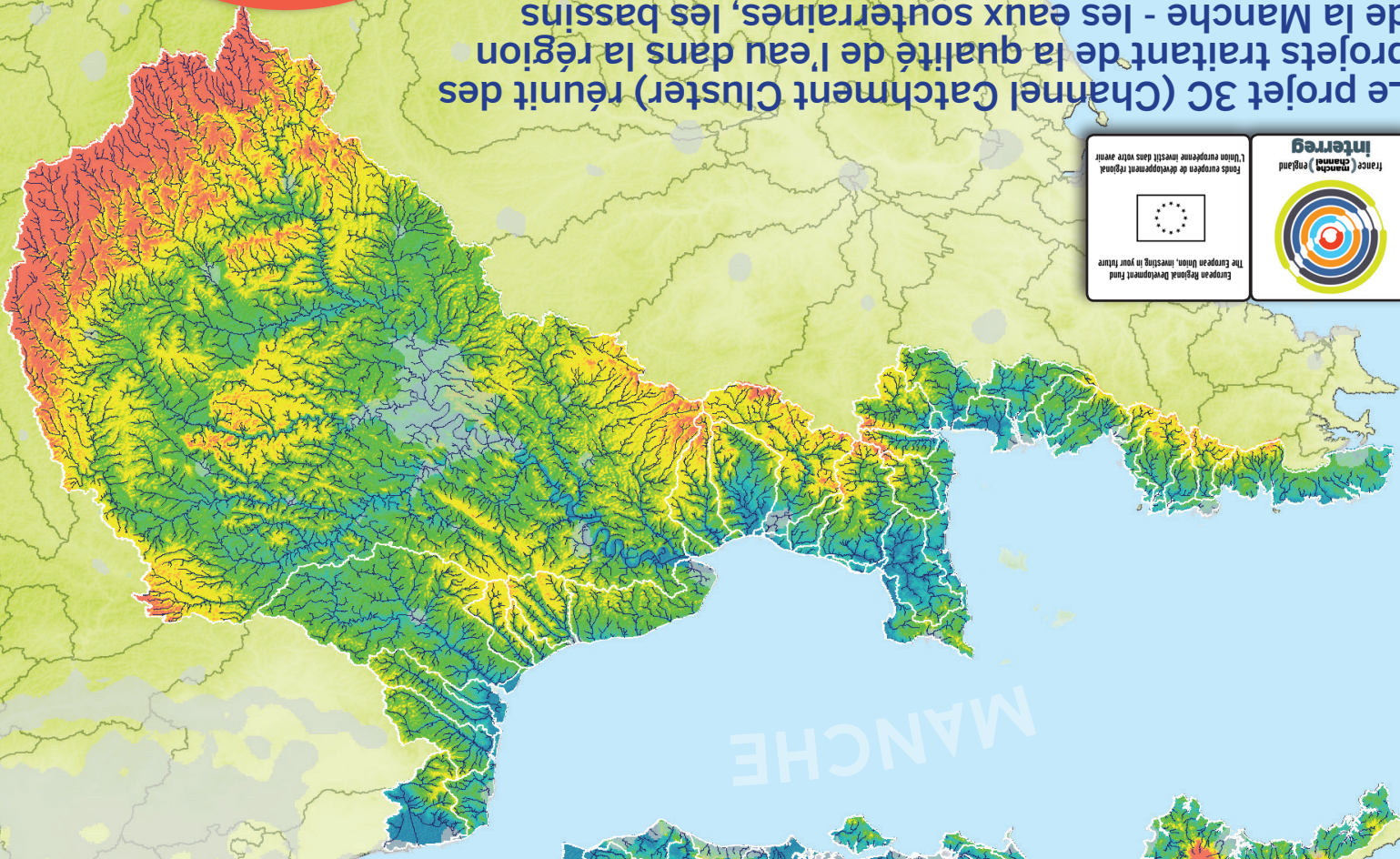
Réfecture Anne-Flore Laloë, Marine Biological Association

Imprimeur Ashley House 1/2/3, Swallow Units, Alphin Brook Rd, Exeter, Devon, EX2 8RG www.ashley-house.co.uk

Photo de couverture : Bassins versants se jetant dans la Manche, prise par Lucy Morris, Westcountry Rivers Trust www.wrt.org.uk, info@wrt.org.uk, @WestcountryRT

CHANNEL CATCHMENTS CLUSTER

Développements récents d'outils et de méthodes de gestion de la qualité de l'eau dans la région France (Manche) Angleterre



Le projet 3C (Channel Catchment Cluster) réunit des projets traitant de la qualité de l'eau dans la région de la Manche - les eaux souterraines, les bassins versants, les rivières, les estuaires et la mer



Les bassins de versants de la Manche soutiennent une population de plus de 19 millions de personnes et ces rivières déversent plus de 61 millions de tonnes d'eau par jour dans la Manche